# Dissertação de Mestrado

# PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GEOLOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS EM ÁREAS DE RISCO DE SOTERRAMENTO

**AUTOR: LEONARD DE CASTRO FARAH**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Romero César Gomes (UFOP)**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA GEOTÉCNIA DA UFOP**
**OURO PRETO – MARÇO DE 2017**

F219p Farah, Leonard de Castro.
Proposta de um sistema de geolocalização para pessoas em áreas de risco de soterramento [manuscrito] / Leonard de Castro Farah. - 2017.
81f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Romero César Gomes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia.
Área de Concentração: Engenharia Geotécnica.

1. Desastres. 2. Geolocalização. 3. Corpo de Bombeiros. 4. Soterramento. I. Gomes, Romero César. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 624.13

Catalogação: www.sisbin.ufop.br

# PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GEOLOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS EM ÁREAS DE RISCO DE SOTERRAMENTO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Geotécnica**, área de concentração em *Gestão de Riscos em Geotecnia e Desastres Naturais.*

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 23 de Maio de 2017, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Prof. Dr. Romero César Gomes (Orientador – UFOP)

Prof. Dr. Lucas Deleon Ferreira (UFOP)

Profª. Drª. Terezinha de Jesus Espósito Barbosa (UFMG)

“...Por uma vida todo sacrifício é dever.”
Autor desconhecido

# DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à todas as vítimas e parentes da Herculano Mineração e da Samarco Mineração

# AGRADECIMENTOS

Deus, acima de tudo;

Minha família apoiadora incondicional na minha jornada de salvar vidas;

Ao Professor Romero, que acreditou nesse projeto, nesse trabalho, que poderá salvar muitas vidas, e que me ensinou que a ciências só tem sua razão de ser, se for feita para ajudar as pessoas, se tiver um fim social.

Ao amigo e grande comandante Coronel Ramos, que acreditou em mim e me deu a oportunidade de estudar nessa maravilhosa instituição de ensino, que aprendi muito a admirar.

Aos amigos do mestrado do NUGEO.

Ao amor da minha vida, que sempre acreditou em mim, e não me deixou desistir nos momentos mais difíceis.

# RESUMO

Os eventos de rupturas de barragens, da Samarco Mineração e Herculano Mineração em Minas Gerais vitimaram 22 pessoas e proporcionaram uma profunda rediscussão destas estruturas em empreendimentos de mineração. O Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) foi a instituição responsável por realizar as operações de busca e de salvamento das vítimas, bem como gerenciar as operações durante a fase de emergência destes eventos. O conhecimento e a experiência obtidos na busca e resgate de pessoas soterradas nestes movimentos de massa de grandes dimensões evidenciaram a complexidade das ações e a necessidade de se adotar técnicas alternativas e mais efetivas para o resgate das vítimas em prazos menores. Num contexto de viabilidade a curto prazo, o presente trabalho propõe a implantação de um sistema de geolocalização, baseado em receptores vinculados, tal como um novo tipo de equipamento de proteção individual, a todas as pessoas inseridas em ambientes críticos de uma mineração a soterramentos, particularmente nas estruturas de disposição de rejeitos. O modelo proposto associa as vantagens da metodologia GPS com a eficiência do monitoramento pela tecnologia de radar, que é independente da ação da água ou da lama de rejeitos finos. Além da sua aplicabilidade imediata, os custos elevadíssimos das operações de busca e salvamento, retratados nos dois estudos de caso dos últimos eventos citados em Minas Gerais, avaliados neste trabalho, ratificam plenamente a viabilidade econômica imediata da proposta, com impactos sociais de extrema relevância para os trabalhadores que atuam em áreas de risco geotécnico propensas a movimentos de massa de grande porte.

**Palavras-chave:** Desastres. Sistema de localização. Acidentes de barragem de mineração. Operações de busca e salvamento.

# ABSTRACT

The last events of ruptures of dams, of Samarco Mining and Herculano Mining, in Minas Gerais victimized 22 people and provided a deep re-discussion of these structures in mining enterprises. The *Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais* (CBMMG) was the institution responsible for carrying out the search and rescue operations of the victims, as well as managing operations during the emergency phase of these events. The knowledge and experience obtained in the search and rescue of people buried in these mass movements evidenced the complexity of the actions and the need to adopt alternative and more effective techniques for the rescue of the victims in shorter deadlines. In a context of short-term viability, the present work proposes the implementation of a geolocation system, based on linked receivers, such as a new type of personal protection equipment, to all people inserted in critical environments from a mining to burial, particularly in tailings disposal structures. The proposed model associates the advantages of the GPS methodology with the radar technology monitoring efficiency, which is independent of the action of water or sludge from fine tailings. In addition to its immediate applicability, the extremely high costs of search and rescue operations, portrayed in the two case studies evaluated in this paper, fully confirm the immediate economic viability of the proposal, with social impacts of extreme relevance for workers who work in risk areas geotechnical techniques prone to large mass movements.

**Keywords:** Disasters. Location system. Dam acidentes. Search and rescue operations.

# LISTA DE FIGURAS


Figura 1.1 Mortos por tipo de desastre no Brasil 1991 - 2012 (Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2013)..... 2
Figura 1.2 Quantitativo de óbitos x tipos de desastres naturais (CENAD, 2012)..... 2
Figura 1.3 População afetada e % de óbitos por regiões do país (CENAD, 2012)..... 3
Figura 1.4 Distribuição macrorregional dos desastres vinculados aos movimentos de massa (CENAD, 2012)..... 3
Figura 1.5 Distribuição dos desastres vinculados aos movimentos de massa por estados (CENAD, 2012)..... 4
Figura 2.1 Escorregamento de terra em área urbana (região serrana/RJ)..... 12
Figura 2.2 Diferentes equipamentos e técnicas de busca..... 19
Figura 2.3 Formação de células vitais em estruturas colapsadas (americanpreppersnetwork.com, 2015)..... 20
Figura 2.4 Taxas de sobrevivência x tempos (http://www.cs.nccu.edu.tw, 2014)..... 21
Figura 3.1 Local do acidente na Mineração Herculano (Fonte: Jornal O Tempo)..... 23
Figura 3.2 Visão aérea inicial do acidente..... 24
Figura 3.3 Vista parcial da massa de solo ..... 25
Figura 3.4 Operações de busca do corpo desaparecido..... 26
Figura 4.1 Complexo Germano da Samarco Mineração..... 35
Figura 4.2 Diques 1 e 3 da Barragem do Fundão (Fonte: Samarco Mineração)..... 36
Figura 4.3 Localização das testemunhas presentes à ruptura da barragem (Morgenstern *et al*., 2016)..... 38
Figura 4.4 Sequência dos eventos da ruptura da Barragem do Fundão..... 39
Figura 4.5 Fluxo inicial da lama + rejeitos no vale a jusante (Fonte: Estadão)..... 39
Figura 4.6 Barragem Santarém e Bento Rodrigues antes e após a ruptura..... 40
Figura 4.7 Vista aérea do povoado de Bento Rodrigues após a ruptura (foto do autor)..... 41
Figura 4.8 Fluxo dos rejeitos atravessando o reservatório e a barragem de Candonga..... 42
Figura 4.9 ‘Caminho da lama’ da ruptura da barragem do Fundão até o mar..... 42
Figura 4.10 Operações de busca usando bastões de tato na área de Bento Rodrigues..... 47
Figura 4.11 Operações de busca usando bastões de tato em vale aberto..... 47
Figura 4.12 Catalogação e registro das ocorrências de busca e resgate (CBMMG)..... 48

Figura 4.13 Distribuição do efetivo do CBMMG nas operações de busca e resgate..... 49
Figura 4.14 Distribuição das viaturas do CBMMG empenhadas nas operações..... 50
Figura 5.1 Refletores fixados às roupas (fonte: www.recco.com)..... 60
Figura 5.2 Sistema de localização pelo sistema Recco (fonte: www.recco.com)..... 60
Figura 5.3 Sistema de localização de pessoas pelo sistema GPS (fonte: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-729052789-mini-a8-rastreador-gps-localizador-veicularpessoal-_JM)..... 67
Figura 5.4 Sistema de localização de pessoas pela tornozeleira eletrônica (fonte: reportagem do jormal ‘O Globo’)..... 68

# LISTA DE TABELAS


Tabela 2.1 Correlações entre chuvas e movimentos de massa para algumas cidades brasileiras (Parizzi *et al.*, 2010)..... 9
Tabela 2.2 Principais características dos processos geodinâmicos (Corteletti, 2014)..... 11
Tabela 3.1 Estimativas dos Valores de TSP – 1º dia de operação..... 31
Tabela 3.2 Estimativas dos Valores de TSP – 2º dia de operação..... 31
Tabela 3.3 Estimativas dos Valores de TSP – 3º dia de operação..... 31
Tabela 3.4 Estimativas dos Valores de TSP – 4º dia de operação..... 31
Tabela 3.5 Estimativas dos Valores de TSP – 5º dia de operação..... 31
Tabela 3.6 Estimativas dos Valores de TSP – 6º dia de operação..... 32
Tabela 3.7 Estimativas dos Valores de TSP – 7º dia de operação..... 32
Tabela 3.8 Estimativas dos Valores de TSP – 8º dia de operação..... 32
Tabela 3.9 Estimativas dos Valores de TSP – 9º dia de operação..... 32
Tabela 3.10 Estimativas dos Valores de TSP – 10º dia de operação..... 32
Tabela 3.11 Estimativas dos Valores de TSP – 11º dia de operação..... 32
Tabela 3.12 Estimativas dos Valores de TSP – 12º dia de operação..... 33
Tabela 3.13 Estimativas dos Valores de TSP – 13º dia de operação..... 33
Tabela 3.14 Estimativas dos Valores de TSP – 14º dia de operação..... 33
Tabela 3.15 Estimativas dos Valores de TSP – 15º dia de operação..... 33
Tabela 3.16 Custos parciais e total da Operação Herculano..... 33
Tabela 4.1 Vencimento (média salarial) dos militares empregados na ocorrência (Fonte: DRH / CBMMG)..... 51
Tabela 4.2 Diárias pagas ao efetivo da ocorrência (Fonte: DRH / CBMMG)..... 51
Tabela 4.3 Gastos de combustível com viaturas empenhadas na ocorrência (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)..... 52
Tabela 4.4 Gastos com as aeronaves do CBMMG empenhadas na ocorrência (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)..... 52
Tabela 4.5 Gastos com materiais danificados e de consumo na ocorrência (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)..... 53
Tabela 4.6 Resumo geral dos custos da operação (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)..... 56

# Lista de símbolos, nomenclaturas e abreviações

1º BBM – 1º Batalhão de Bombeiros Militar

AB – Caminhão de autosalvamento

BEMAD – Batalhão de Emergências Ambientais e Resposta a Desastres

BOA – Batalhão de Operações Aéreas

CBMMG – Corpo de Bombeiros Militar de Minas

COBOM – Centro de Operações dos Bombeiros

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPR – Equipamento de Proteção Respiratória

EVI – Espaços Vitais Isolados

GPS – *Global Position System*

MABOM – Manual de atividades de Bombeiros

NR – Norma Regulamentadora

PMMG – Polícia Militar de Minas Gerais

SML – Segurança, monitoramento e localização

TSP – Taxas de Segurança Pública

UFEMG – Unidade Fiscal do Estado de Minas Gerais

VANT's – Veículos Aéreos Não Tripulados

# Sumário

**CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO ..... 1**

1.1 Contextualização ..... 1

1.2 Justificativa da dissertação ..... 5

1.3 Objetivo Geral da dissertação ..... 5

1.4 Estrutura da dissertação ..... 5

**CAPÍTULO 2. MOVIMENTOS DE MASSA E A ATUAÇÃO DO CBMMG ..... 7**

2.1 Movimentos de massa ..... 7

2.2 Atuação do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais (CBMMG) em ocorrências de movimento de massa ..... 13

2.3 Premissas e procedimentos operacionais no CBMMG ..... 14

2.4 Técnicas de busca e de salvamento ..... 17

**CAPÍTULO 3. ESTUDO DE CASO I: RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DA HERCULANO MINERAÇÕES ..... 23**

3.1 Histórico da operação ..... 23

3.2 Técnicas de busca utilizadas ..... 26

3.3 Custos das operações de busca ..... 29

**CAPÍTULO 4. ESTUDO DE CASO II: RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DA SAMARCO MINERAÇÕES ..... 37**

4.1 Histórico da ruptura da barragem ..... 35

4.2 Dinâmica do processo da ruptura e do fluxo de rejeitos ..... 37

4.3 Cronologia das operações do CBMMG no dia do evento ..... 43

4.4 Operações de busca e salvamento das vítimas ..... 46

4.5 Custo final das operações do CBMMG ..... 50

**CAPÍTULO 5. PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GEOLOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS SOTERRADAS ..... 57**

5.1 Introdução ..... 57

5.2 Uso de localizadores específicos para resgate de pessoas soterradas ..... 58

5.3 Equipamentos de proteção individual e sua normalização na atividade mineradora ..... 60

5.4 Modelo de um sistema de segurança, monitoramento e localização de pessoas soterradas (Sistema SML) ..... 63

5.5 Custos e viabilidade da proposta do sistema SML..... 66

**CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA ESTUDOS COMPLEMENTARES ..... 70**

6.1 Considerações finais..... 70

6.2 Conclusões ..... 71

6.3 Sugestões para trabalhos complementares ..... 72

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 74**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Corpo de Bombeiros Militar de Minas (CBMMG), nos termos do inciso V e do § 6º do artigo 144 da Constituição da República e do inciso II do artigo 142 da Constituição do Estado, modificado pela Emenda Constitucional nº 39, de 02 de junho de 1.999, bem como na lei 54 de organização básica do CBMMG, tem como atribuição coordenar e executar as ações de defesa civil, proteção e socorro público, prevenção e combate a incêndio, perícia de incêndio e explosão, prevenção contra sinistro, busca e salvamento. A missão institucional do CBMMG é descrita nestes termos: 'prestação de serviços de prevenção contra sinistro, proteção, socorro e salvamento, sempre atendendo de forma eficiente e ágil os cidadãos em todo território mineiro, atuando de forma integrada com os órgãos do Sistema de Defesa Social e a sociedade, visando a melhoria da qualidade da vida e o exercício pleno da cidadania'.

Dentro desta perspectiva e das atribuições institucionais que lhe são conferidas, cabe ao CBMMG realizar as ações de salvamento, ações estas que, para se obter uma eficiência adequada, dependem em suma do que é chamado de tempo-resposta, que é o tempo necessário após ocorrer o acidente que o profissional habilitado deve ser acionado para atuar no salvamento de uma pessoa ou bem e assim conseguir realizar as ações necessárias no atendimento da operação.

Atualmente, num contexto de atuação institucional cada vez mais dirigida ao atendimento das proposições das atividades de Proteção e Defesa Civil,de acordo com lei nº 12.608/12, e em conformidade com as diretrizes da Organização das Nações Unidas principalmente em relação ao *Marco de Ação de Hyogo* (2005-2015) e o *Marco de Ação de Sendai* (2015-2030), dos quais o Brasil é signatário e na premissa de adotar estes tratados na hierarquia máxima de nossas fontes legais no tratamento de ações para a redução do risco de desastres, o CBMMG vem se preocupando com as respostas necessárias para os incidentes mais comuns relacionados aos desastres naturais e às áreas de riscos que estão diretamente associadas a estes tipos de eventos.

O último levantamento realizado pelo Ministério das Cidades e pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, assinala os movimentos de massa como uma das ocorrências que implicam o maior número de mortes no país nos últimos anos. O número de vítimas fatais, associados aos tipos de desastres ocorridas no Brasil no período de 1991 a 2012, resulta numa contribuição da ordem de 15,60 % do total a eventos do tipo movimentos de massa (Figura 1.1).

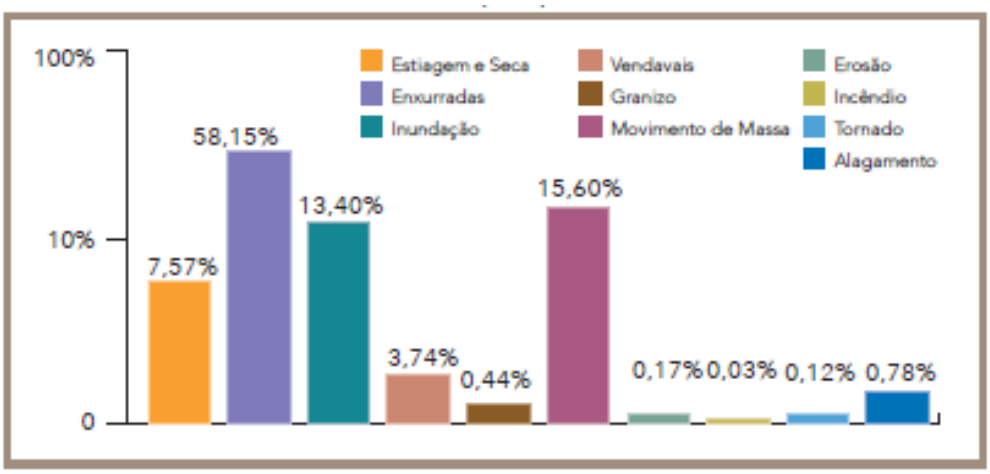



Figura 1.1 – Mortos por tipo de desastre no Brasil 1991 - 2012 (Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2013).

O Anuário sobre Desastres da Secretaria Nacional de Defesa Civil de 2012 (CENAD, 2012), versão mais recente publicada, mostra que os movimentos de massa foram os desastres naturais responsáveis pelo maior número de óbitos em todo o Brasil (Figura 1.2), juntamente com o registro de vítimas fatais decorrentes de 'enxurradas', sendo que 75,3% destas mortes registrados ocorreram na Região Sudeste do país (Figura 1.3).

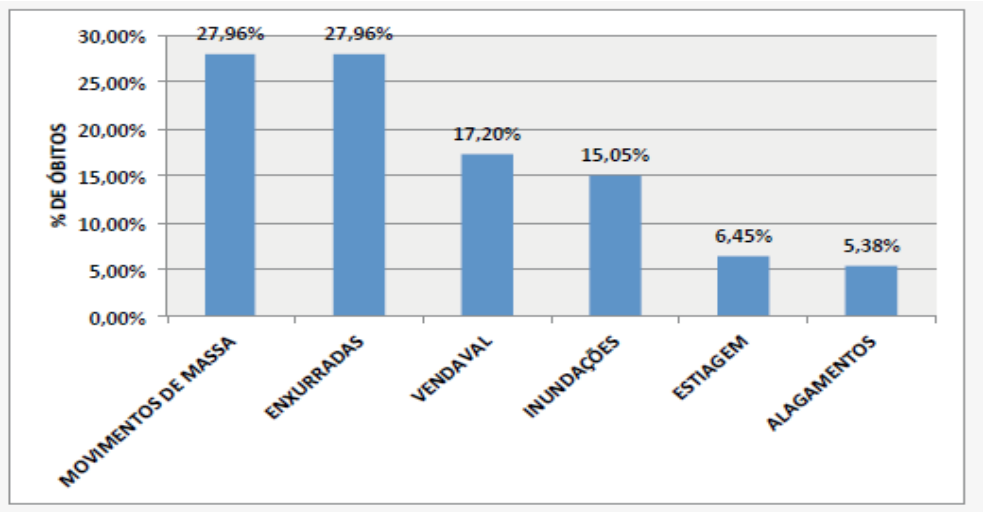



Figura 1.2 – Quantitativo de óbitos x tipos de desastres naturais (CENAD, 2012)

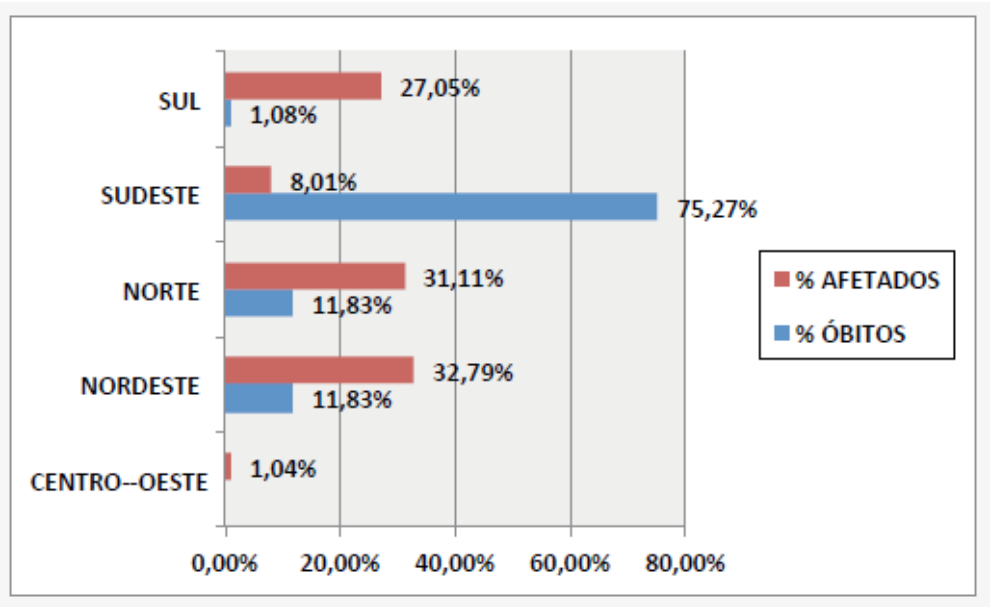



Figura 1.3 –População afetada e % de óbitos por movimento de massa por regiões do país (CENAD, 2012)

Estes dados (ainda referentes ao Anuário 2012) podem ser detalhados em termos de sua distribuição macrorregional (Figura 1.4) ou pelos estados da federação (Figura 1.5). Esta sistematização evidencia que a distribuição e a frequência dos desastres naturais associados a movimentos de massa estão concentradas, em larga escala, na região sudeste e, particularmente, no estado de Minas Gerais (que responde por quase 60% dos eventos registrados), o que evidencia a necessidade imperiosa de uma maior qualificação e escala de atuação do CBMMG.

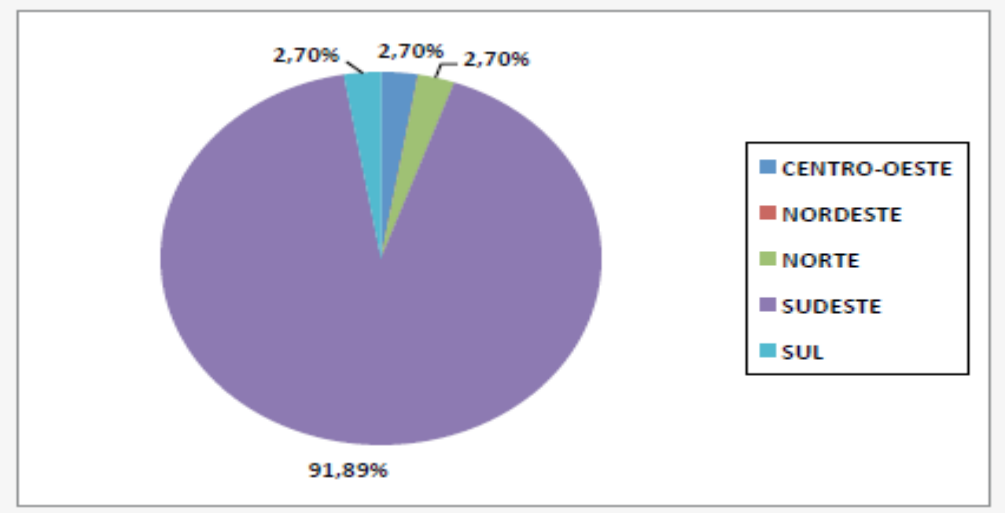



Figura 1.4 –Distribuição macrorregional dos desastres vinculados aos movimentos de massa (CENAD, 2012)

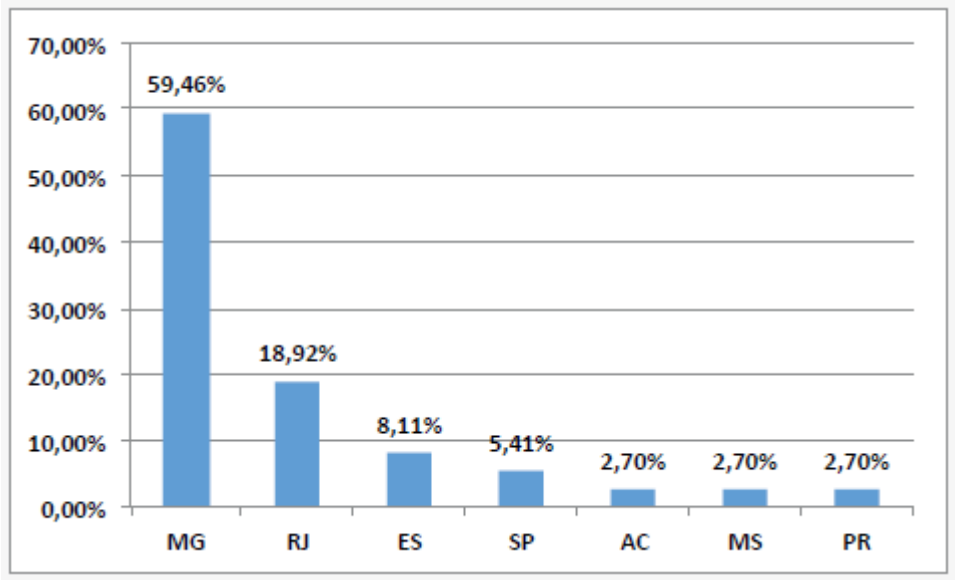



Figura 1.5 –Distribuição da porcentagem dos desastres vinculados aos movimentos de massa por estados (CENAD, 2012)

Em anos mais recentes, esta tendência tem sido mantida, com resultados cada vez mais impactantes em épocas de grandes precipitações concentradas numa determinada área ou núcleo urbano. Em Minas Gerais, particularmente, tem sido uma triste rotina a imposição de estados de emergência em muitos municípios após chuvas torrenciais, que causam danos de toda natureza e, infelizmente também, vítimas fatais. Neste contexto, a atuação do CBMMG tem sido intensa e efetiva, mas também de alerta no sentido de buscar uma maior especialização no enfrentamento de ações associadas a eventos do tipo movimento de massa.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO

Considerando a contextualização apresentada e a realidade de sua atuação prática, conclui-se como imperativa a especialização dos trabalhos e ações do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais no caso específico do salvamento de vítimas de desastres naturais na forma de movimentos de massa.

Por outro lado, nos anos de 2014 e 2015, o CBMMG atuou em grande escala em dois grandes desastres de rupturas de barragens, caracterizados como ocorrências de salvamento em soterramento no âmbito da classificação de registros de eventos de defesa social. Estes dois acidentes vitimaram 22 pessoas, sendo que milhares de outras pessoas foram afetadas direta e indiretamente por estes sinistros.

A experiência acumulada de atuação em eventos desta natureza originou a participação do autor no Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP com o intuito de aperfeiçoamento profissional e da formulação de proposições concretas para incrementar os procedimentos práticos de salvamento de pessoas afetadas por eventos de movimentos de massa de pequena, média e grande escala.

## 1.3 OBJETIVOS GERAL E ESPECIFICOS DA DISSERTAÇÃO

Considerando a elevada incidência de movimentos de massa no Estado de Minas Gerais e a imperiosa necessidade de se aprimorar as técnicas de salvamento de pessoas afetadas por eventos desta natureza, a presente dissertação propõe o estudo de viabilidade e implementação de um sistema de geolocalização para pessoas enquadradas no âmbito de potenciais áreas de risco nas empresas mineradoras associadas a este tipo de desastre natural. A citada proposição considerou como caso de referência o salvamento de uma pessoa soterrada no processo de ruptura de uma barragem de contenção e rejeitos na Mineradora Herculano, ocorrido em setembro de 2014 e os trabalhos de resgate e recuperação de todas as pessoas no acidente da Samarco Mineração em 2015.

Neste propósito, foi feito um levantamento detalhado dos custos das operações, envolvendo os procedimentos de busca e localização das pessoas atingidas pelos fluxos e das pessoas soterradas, a partir da inexistência de quaisquer indícios prévios de sua localização, bem como dos aspectos sociais associados, em termos de respostas consistentes dos fatos às famílias das pessoas atingidas, às empresas e a sociedade civil em geral.

Especificamente propõem-se a mudança na legislação de uso de equipamentos de proteção individuais na atividade mineradora. E verificar a necessidade e atualização do Manual de Atividades de Bombeiro, MABOM.

## 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação foi estruturada na forma de seis capítulos. O Capitulo 1 apresenta uma contextualização geral da atuação do CBMMG no atendimento a eventos associados a movimentos de massa, a justificativa e o objetivo primário deste trabalho, e a

estruturação proposta para a dissertação.

O Capitulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sucinta sobre movimentos de massa e sobre a atuação do CBMMG em eventos desta natureza, com abordagem tanto em termos de suas responsabilidades legais como em termos das técnicas convencionalmente aplicadas por essa corporação na busca e salvamento de pessoas soterradas.

O Capitulo 3 apresenta o primeiro estudo de caso de busca e salvamento de pessoas soterradas, tratados nesta dissertação, relativo à ruptura de uma barragem de contenção de rejeitos da Herculano Mineração. A explanação abrange o histórico das operações, as técnicas de salvamento utilizadas e os custos globais demandados nesta atuação específica do CBMMG.

O capitulo 4 discorre sobre o segundo estudo de caso abordado no trabalho, relativo à ruptura da Barragemde Contençãode Rejeitos do Fundão, de propriedade da Samarco Mineração, evento de triste memória no rol das grandes catástrofes em empreendimentos de mineração. No capítulo, são apresentados o histórico do acidente da barragem, as dificuldades e a complexidade das operações de busca e resgate, as técnicas empregadas e também, analogamente ao caso anterior, uma sistematização geral dos custos associados às operações específicas do CBMMG neste evento.

O Capitulo 5 apresenta uma proposta de um sistema híbrido de localização de pessoas soterradas em grandes eventos de movimentos de massa utilizando, de forma integrada, dispositivos comercialmente disponíveis nos sistemas GPS e por radar, após a apreciação das técnicas potencialmente disponíveis no momento, bem como de suas limitações e vantagens. A viabilidade econômica da proposta é demonstrada com base na aferição dos custos demandados nas operações de busca e salvamento de pessoas soterradas dos dois estudos de caso relatados.

O Capitulo 6 sistematiza as considerações finais, as principais conclusões deste trabalho e algumas proposições de estudos complementares ao tema focal abordado na presente dissertação.

# CAPÍTULO 2

## MOVIMENTOS DE MASSA E A ATUAÇÃO DO CBMMG

### 2.1 MOVIMENTOS DE MASSA

Movimentos de massa são processos envolvendo o transporte essencialmente gravitacional de massas de solo, rochas e outros materiais, com ou sem a presença de água incorporada. Neste último caso, os efeitos do processo tendem a ser potencialmente aumentados, introduzindo fortes padrões modeladores do relevo e do quadro evolutivo das encostas locais.

Esses processos podem ser desencadeados por fatores intrínsecos ao meio físico local (chamados fatores predisponentes) ou pela ação de causas externas ou internas, induzindo sobrecargas ou reduzindo a resistência interna dos materiais presentes, respectivamente. A natureza do processo final vai depender dos condicionantes geológicos locais, da declividade das vertentes, do regime de chuvas, da presença ou não de vegetação e da atividade antrópica (BIGARELLA e PASSOS., 2003; TOMINAGA, 2012). Superfícies internas de descontinuidade e espessos mantos de intemperismo são frequentemente feições críticas para a mobilização destes eventos em grande porte.

Como fenômenos naturais da dinâmica de desenvolvimento das vertentes, os movimentos de massa introduzem impactos substanciais em áreas urbanas, uma vez que submetem grandes parcelas da população aos riscos potenciais dos danos e consequências destes eventos, além de propiciar grandes perdas econômicas e sociais. No Brasil, a incidência dos movimentos de massa nas encostas está relacionada às características naturais do país:

> O Brasil, por sua grande extensão e diversidade de condições climáticas, está sujeito aos desastres naturais, principalmente aqueles associados às porções susceptíveis do seu relevo. Além da frequência elevada destes desastres de origem natural, ocorrem no país, também, um grande número de eventos induzidos pela ação antrópica. As metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de deslizamentos por cortes para implantação de moradias e de estradas, desmatamentos, atividades de pedreiras, etc (FERNANDES e AMARAL, 2000).

Embora se tenha relatos esporádicos de estudos sobre movimentos de massa no Brasil, a

abordagem sistematizada destes eventos ocorreu principalmente a partir da metade do século XX, em função das novas tecnologias disponíveis. Quase sempre estes estudos tiveram origem em cenários catastróficos induzidos por pesadas precipitações (Santos/SP em 1956; Serra das Araras e em Caraguatatuba/SP, 1967 e Tubarão/SC em 1974).

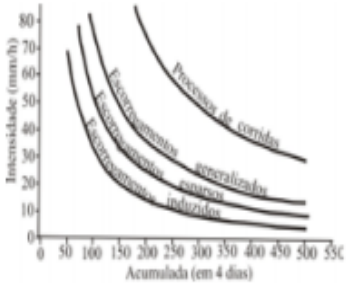
Eventos extremos, mais recentes, incluem-se nesta mesma temática da associação de precipitações intensas e áreas com ocupação urbana inadequada, casos dos eventos ocorridos no Vale do Itajaí/SC em 2008; em Angra dos Reis/RJ em 2009, resultando em 63 mortes; na região serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, afetando cidades como Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, com enorme destruição da infraestrutura local e resultando em mais de 900 mortes e cerca de 400 desaparecidos (PINTO *et al.*, 2012).

Nestes cenários, as chuvas constituem elemento preponderante e indutor dos processos, por diversas razões (Gomes, 2007):

- aumento do peso específico do solo pela retenção parcial das águas de infiltração;
- desenvolvimento de poropressões no terreno, com consequente redução das tensões efetivas;
- eliminação das tensões capilares mobilizadas entre as partículas do solo;
- perda da cimentação existente entre as partículas de solo;
- introdução de uma força de percolação na direção do fluxo, que tende a arrastar as partículas do solo.

Esta influência decisiva tem levado muitos pesquisadores a buscar correlações entre movimentos de massa (de diferentes naturezas e portes) e a magnitude das precipitações locais no dia do evento (‘chuva do dia’) ou previamente acumuladas (‘chuva acumulada’). Em muitos casos, as ocorrências dos movimentos de massa estão atreladas a eventos de chuvas concentradas e excepcionais; em outras situações, as chuvas acumuladas parecem ser particularmente indutoras de processos críticos (CASTRO, 2006). A Tabela 2.1 apresenta uma série de estudos desta natureza, visando estabelecer correlações entre movimentos de massa e magnitude das precipitações. Há que se enfatizar a enorme dificuldade de uma caracterização completa e consistente dos dados hidrológicos disponíveis, bem como da zona de abrangência efetiva das chuvas mensuradas.

Tabela 2.1 – Correlações entre chuvas e movimentos de massa para algumas cidades brasileiras (PARIZZI *et al.*, 2010)

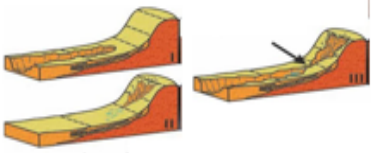
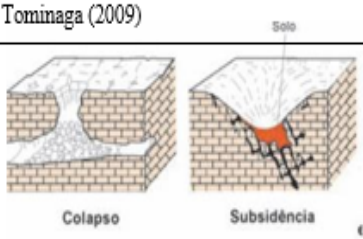
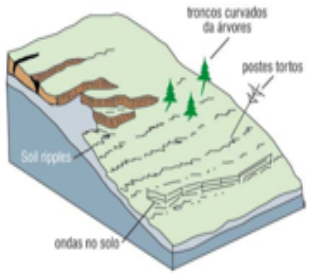
| Cidade ou Região Brasileira | Correlação entre chuvas e Movimentos de Massa | Autores |
|---|---|---|
| Serra do Mar, SP | Desenvolveram a equação para a região paulista: $I(Ac) = KAc^{-0,933}$<br>Onde, I(Ac) = intensidade diária de chuva , Ac = o acumulado de chuva durante 4 dias antes do evento. O fator K é dependente do evento e assume valores iguais a K = 2603 para escorregamentos induzidos, K=3579 para escorregamentos esparsos, K = 5466 para escorregamentos generalizados e K= 10646 para corridas. Os resultados estão representados no gráfico abaixo:<br>  <br><br>Correlação entre chuva e movimentos de massa para a Serra do Mar, São Paulo. | Tatizana *et al.* (1987a e 1987b) |
| Petrópolis, RJ | Foi avaliado que, com relação ao período de chuva acumulada o melhor período foi o de 4 dias, o único a não apresentar incoerência. Estabelecem a relação entre pluviosidade acumulada e eventos de escorregamentos:<br>**mm** — no escorregamentos<br>30 — 1 a 5 (somente em encostas muito perturbadas)<br>40 — 6 a 15 (eventos de maior porte)<br>90 — 16 a 30 (eventos de alta magnitude)<br>150 — Acima de 30 (generalizados) | Almeida *et al.* (1993) |
| Salvador, BA | Considera chuvas diárias a partir de 20mm e acumuladas de 4 dias com valores maiores que 120 mm há predominância de escorregamentos. | Elbachá *et al.* (1992) |
| Maceió, AL | Estabelecem fatores probabilísticos de pluviosidade considerando o coeficiente de ciclo móvel (CCM) que é a relação entre o registro pluviométrico acumulado e o acumulado normal de chuva até a data do episódio. CCM > 1 sinaliza um período pluviométrico superior à média. | Anjos *et al.* (1997) |
| Olinda, PE | Introdução do parâmetro R (valor representativo do movimento iminente, igual a 600 mm²).<br>$R = P_{ac} \cdot I$<br>$P_{ac}$ = intensidade de chuva acumulada até o episódio<br>I = chuva de intensidade mínima até o episódio.<br>Ex: Se a chuva acumulada (Pac) á de 60 mm, basta uma chuva de 10 mm para a desestabilização do maciço. | Gusmão Filho (1997) |
| Rio de Janeiro, RJ | Consideram as médias 30mm/h, 70mm/24h e 100mm/96h das precipitações pluviométricas para que ocorra um acidente. | Feijó *et al.* (2001) |
| Belo Horizonte, MG | escorregamentos generalizados em todas as litologias ocorrem durante chuva de grande intensidade (altos índices pluviométricos em poucas horas). | Parizzi (2004) |
| Campinas, SP | Áreas do embasamento possuem maior susceptibilidade a escorregamentos a partir de 78mm/7 dias. Para as áreas sedimentares as relações não foram satisfatórias. | IDE, Fernanda (2005) |
| Ouro Preto, MG | Chuvas acumuladas de cinco dias são as que mais influenciam na instabilização de encostas. Precipitações de 22mm/5 dias podem desencadear eventos. Acima de 128mm/5dias há maior probabilidade de escorregamentos severos. | CASTRO, Jeanne (2006) |

Os condicionantes geomorfológicos e geológicos locais são comumente abordados por meio de técnicas de mapeamento e zoneamento das áreas estudadas, correspondendo a uma etapa indispensável para a gestão de riscos naturais e planejamento do uso e ocupação do espaço urbano (ou da área de estudo em questão).

Em virtude da natureza e complexidade dos processos envolvidos, ambiente afetado e objetivo das análises, os movimentos de massa podem ser caracterizados de formas diversas, em sistemáticas mais ou menos abrangentes. Assim, algumas metodologias consideram a cinemática do movimento, incorporando dados relativos à massa em movimento e a velocidade, direção e evolução dos deslocamentos; outras levam em conta tão somente a geometria e abrangência dos processos geodinâmicos. Este conhecimento é particularmente interessante no contexto de estudos que buscam identificar a relação entre os condicionantes e a predisposição de ocorrência dos processos, permitindo, assim, inferir o processo evolutivo das vertentes e encostas.

Em âmbito nacional, as principais classificações comumente empregadas são aquelas propostas por Freire (1965), Vargas (1966), Costa Nunes (1969), Guidicini e Nieble (1984) e Augusto Filho (1992). Uma sistematização geral dos principais processos geodinâmicos é apresentada na Tabela 2.2 (Corteletti, 2014). A Figura 2.1 mostra o risco e os impactos de um evento desta natureza em áreas urbanas.

Tabela 2.2 – Principais características dos processos geodinâmicos (Corteletti, 2014)

| Classe | Desenho esquemático | Características |
|---|---|---|
| Erosão |  Tominaga (2009) | processo natural que resulta em transporte de massa devido à dinâmica superficial das encostas. A erosão é acionada por ventos, chuvas e desgelo. A magnitude do processo é diretamente influenciada por fatores de solo, relevo e cobertura vegetal, principalmente. |
| Subsidência ou colapso |   Tominaga (2009) | movimento, relativamente lento, de afundamento de terrenos, devido à deformação ou deslocamento de direção, essencialmente, vertical descendente. O colapso apresenta a mesma definição, porém, apresenta-se como um movimento brusco do terreno. |
| Rastejo (*creep*) |   USGS (2008) | - vários planos de deslocamento (internos);<br>- velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade;<br>- movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;<br>- solo, depósitos, rocha alterada e/ou fraturada;<br>- geometria indefinida. |
| Espalhamento Lateral | USGS (2008) | - ocorre, geralmente, em taludes de baixa inclinação ou em terrenos planos, especialmente onde exista uma camada superior de rocha ou solo que ao aumentar sua extensão mova-se para cima de uma camada menos rígida e mais fraca;<br>- as rupturas são comumente associadas a um afundamento generalizado em direção a essa camada inferior. |

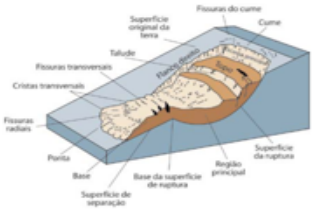
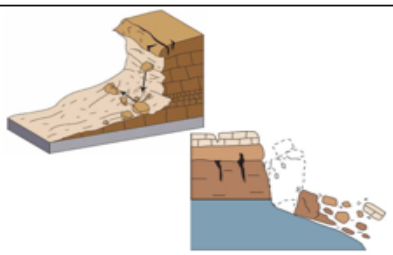
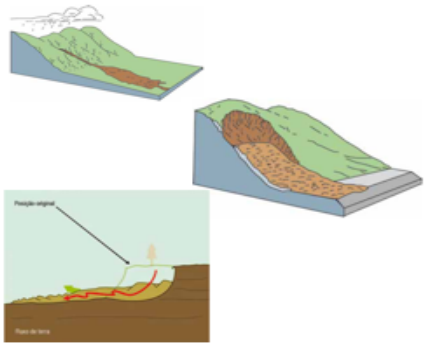
| Classe | Desenho esquemático | Características |
|---|---|---|
| Escorregamento |  USGS (2008) | - poucos planos de deslocamento (externos;<br>- velocidades médias (m/h) a altas (m/s);<br>- pequenos a grandes volumes de material;<br>- geometria e materiais variáveis: planares ou translacionais; solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;<br>- circulares ou rotacionais: aterros, solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;<br>- em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza. |
| Quedas |  USGS (2008) | - sem planos de deslocamento;<br>- queda livre ou rolamento através de plano inclinado § Velocidades muito altas (vários m/s);<br>- material rochoso;<br>- pequenos e médios volumes; geometria variável: lascas, placas, placas, blocos, etc.;<br>- tipos: rolamento de matacão; tombamento; desplacamento. |
| Corridas |  USGS (2008) | - muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação);<br>- movimento semelhante ao de um líquido viscoso;<br>- desenvolvimento ao longo das drenagens;<br>- velocidades médias a altas;<br>- mobilização de solo, rochas, detritos e água;<br>- grandes volumes de material;<br>- extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas. |

Figura 2.1 – Escorregamento de terra em área urbana (região serrana/RJ Disponível em : http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/01/regiao-serrana-do-rj-enfrenta-2-dia-de-calamidade-causada-pela-chuva.html)

## 2.2 ATUAÇÃO DO CORPO DE BOMBEIROS DE MINAS GERAIS (CBBMG) EM OCORRÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA

Os processos de movimentos de massa, independentemente de sua natureza e tipologia, podem induzir sérios danos e perdas, particularmente quando envolvem pessoas soterradas. Neste caso específico, ações imediatas e integradas constituem o suporte técnico adequado para resgatar estas vítimas, constituindo este tipo de salvamento uma das atuações mais flagrantes e persistentes do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG).

O CBMMG é regido, basicamente, por prescrições constantes das Constituições Federal do Brasil e do Estado de Minas Gerais e possui ainda uma legislação própria, expressa pela Lei Complementar nº 54, de 13 de dezembro de 1999. Nessas legislações estão descritas as competências pelas quais o CBMMG deve, obrigatoriamente, pautar suas ações, dentre as quais se destacam as atividades de Busca e Salvamento e Defesa Civil.

A Constituição Federal, no seu artigo 144, diz que 'a segurança pública é dever do Estado e direito e responsabilidade de todos' e, vai além, ao indicar os órgãos federados que fazem parte integrante da Segurança Pública. Aborda ainda, no § 5º desse mesmo artigo, a designação dos Corpos de Bombeiros Militares como responsáveis pela execução de atividades de Defesa Civil. (BRASIL 1988)

> Art. 144. A Segurança pública, dever do Estado, direito e responsabilidade de todos, é exercida para a prevenção da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, através dos seguintes órgãos:
>
> I - polícia federal;
> II - polícia rodoviária federal;
> III - polícia ferroviária federal;
> IV - polícias civis;
> V - polícias militares e corpos de bombeiros militares.
> [...]
>
> § 5º: Às polícias militares cabem a polícia ostensiva e a preservação da ordem pública; aos corpos de bombeiros militares, além das atribuições definidas em lei, incumbe a execução de atividades de defesa civil.

Assim como a Constituição Federal, a Constituição Estadual de Minas Gerais descreve em seu artigo 142, inciso II, as competências do CBMMG, e diferente do texto da Carta Magma, que atribui aos Corpos de Bombeiros somente a execução de atividades de Defesa Civil, a Constituição Estadual atribui ao CBMMG a coordenação e a execução

destas ações. Nota-se ainda que as operações de Busca e Salvamento, foco deste trabalho, estão explicitamente destacadas nessa legislação:

> Art. 142 – A Polícia Militar e o Corpo de Bombeiros Militar, forças públicas estaduais, são órgãos permanentes, organizados com base na hierarquia e na disciplina militares e comandados, preferencialmente, por oficial da ativa do último posto, competindo:
> I – [...]
> II – ao Corpo de Bombeiros Militar, a coordenação e a execução de ações de defesa civil, a prevenção e combate a incêndio, perícias de incêndio, busca e salvamento e estabelecimento de normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio ou qualquer tipo de catástrofe.

Da mesma forma, a Lei de Organização Básica do CBMMG - Lei complementar nº 54, de 13 de dezembro de 1999, explicita, em seu artigo 3º, todas as competências e atribuições do CBMMG, inclusive aquelas relativas à Busca e Salvamento, justamente aquelas em que se inserem as ocorrências de soterramento, nos seguintes termos:

> Art. 3º - Compete ao Corpo de Bombeiro Militar:
> I - coordena e executar as ações de defesa civil, proteção e socorrimento públicos, prevenção e combate a incêndio, perícias de incêndio e explosão em locais de sinistro, busca e salvamento;
> II – [...]
> III - coordenar a elaboração de normas relativas à segurança das pessoas e dos seus bens contra incêndios e pânico e outras previstas em lei, no Estado;
> IV - exercer a polícia judiciária militar, relativamente aos crimes militares praticados por seus integrantes ou contra a instituição Corpo de Bombeiros Militar, nos termos da legislação federal específica;
> V - incentivar a criação de Bombeiros não militares e estipular as normas básicas de funcionamento e de padrão operacional;
> VI - exercer a supervisão das atividades dos órgãos e das entidades civis que atuam em sua área de competência;
> VII - aprimorar os recursos humanos, melhorar os recursos materiais e buscar novas técnicas e táticas que propiciem segurança à população.

## 2.3 PREMISSAS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NO CBMMG

Neste item, são expostas as principais premissas e procedimentos normativos que regem as atividades profissionais do CBMMG em relação às operações de busca e salvamento no caso de eventos de soterramento, bem como destacar as principais técnicas e táticas empregadas pela corporação nessas ocorrências. Todas as informações descritas a seguir constam do chamado Manual de Atividades de Bombeiros – MABOM (PMMG, 1985).

Os soterramentos constituem eventos que ocorrem em escavações, minas e outros locais, explicitados por deslocamentos acentuados de massas de solo, que constituem o principal agente de impacto da infraestrutura local. Nestas áreas de risco potencial, impõe-se a

necessidade de um reconhecimento prévio do local a fim de se identificar riscos e prevenir novos acidentes.

Como procedimento tático, ressalta-se a importância da análise do parâmetro que, no citado manual, é denominado como ‘ângulo de ação’ da ocorrência, ou seja, o ângulo de repouso da massa de material movimentado, aferindo-se da existência ou não de vítimas com vida no local. A partir dessa constatação adota-se uma série de procedimentos básicos previstos no manual.

A seguir serão enumeradas algumas providências relevantes preconizadas pelo manual e que, em princípio, devem ser adotadas pelos bombeiros militares em quaisquer ocorrências de soterramento. No intuito de esclarecer e enfatizar certos aspectos destes procedimentos, são feitas algumas observações complementares relativas a cada um destes procedimentos.

Em termos gerais, o manual orienta (PMMG, 1985, p. 151, destaques feitos pelo autor):

> 1) A rapidez é um elemento de extrema importância para o êxito da missão;
> [...]
> 4) Tratando-se de soterramento, observar os pontos possíveis de novos deslizamentos, escorá-los ou, havendo maquinário adequado, removê-los**;**
> [...]
> 8) Toda possibilidade de vida deve ser considerada, pois bolsões de ar formam-se sob amontoados de terra e de escombros.
> [...]
> 14) Na ocorrência de um grande número de vítimas com vida, além do maior número de bombeiros empenhados nos trabalhos, a remoção será executada por setores, começando por aqueles em que houver maior possibilidade de êxito nos resgates. Deve-se estar atento a gemidos, gritos e outros sinais manifestos de necessidade de socorro dados por soterrados;
> [...]
> 19) Remover a terra bem como pedras de grande porte, reduzindo-se o peso sobre as vítimas;
> [...]
> 21) A terra retirada da escavação, deverá ser lançada no mínimo, a 0,50m das bordas, para evitar sua queda novamente no interior do local.

O manual recomenda a utilização de alguns procedimentos básicos, mas é evasivo em relação a outras providências. Por exemplo, em relação ao escoramento, o manual recomenda ‘observar os pontos possíveis de novos deslizamentos, escorá-los [...]’. No entanto, ele não detalha qual o tipo de escoramento a ser utilizado, sua locação e arranjo, a natureza e demais características pertinentes.

Por outro lado, ele destaca pontos interessantes como aqueles relativos à segurança nas operações. Assim, recomenda que as caminhadas em ambientes soterrados, bem como a utilização de ferramentas de porte, somente deverão ser empregadas com cautela e mediante aferição prévia, uma vez que novas perturbações poderão implicar novos deslizamentos. Neste escopo, as recomendações correspondentes a esta situação são as seguintes (PMMG, 1985, p. 151, destaques feitos pelo autor):

> 7) Durante toda a operação deverá ser considerada a possibilidade de novos desabamentos ou deslizamentos; por isto a caminhada nestes locais deve ser cuidadosa e na execução dos trabalhos deve ser levado em conta que tudo que se remove, corta, encosta ou apóia poderá estar escorando ou sustentando cargas prontas para desabar ou deslizar;
>
> [...]
>
> 9) Nos soterramentos em que as vítimas estiverem totalmente cobertas pela terra ou escombros, deve-se trabalhar com rapidez, porém com o máximo de cuidado no manuseio das ferramentas [...].

Além das providências citadas, a literatura orienta também quanto ao resgate de materiais e de cadáveres presentes na cena do sinistro. De acordo com estas premissas, este serviço somente terá início a partir do instante em que todos os trabalhos de escoramento, ventilação, iluminação, dentre outras providências, estiverem efetivamente completados, nos seguintes termos (PMMG, 1985, p. 152, destaques feitos pelo autor):

> 13) Para os chamados de retirada de materiais ou de cadáveres, decorrentes de soterramento ou de desabamento, as ocorrências de resgate somente terão início após completados os trabalhos de escoramento e outras providências (ventilação, iluminação, etc.) que ofereçam segurança e proteção à vida dos bombeiros empenhados;
> [...].

Por fim, o manual prevê também alguns procedimentos especiais nas ocorrências que envolvem soterramento tais como a utilização de Equipamento de Proteção Respiratória (EPR), em casos de ambientes saturados por gases ou substâncias nocivas e a realização de análises continuadas dos riscos, em especial nos períodos chuvosos, de forma a não propiciar o desenvolvimento de novos acidentes (PMMG, 1985, p. 152, destaques feitos pelo autor):

> a. Em caso de ambientes saturados, é indispensável o uso de equipamento autônomo;
> b. Havendo deficiência de visibilidade, providenciar iluminação local sem, contudo, utilizar o meio de chama exposta, evitando-se saturação do ambiente com fumaça. Ainda mais a chama exposta apresenta perigo de explosão, caso no local haja a presença de gases inflamáveis ou misturas detonantes em suspensão;
> c. Em deslizamentos de terra, decorrente de períodos de chuvas torrenciais, é suscetível a ocorrência de novos deslizamentos. Por isso, é necessário que os bombeiros empenhados estejam constantemente atentos e que se façam reconhecimentos contínuos para evitar-se nova tragédia.

O MABOM é um manual bastante antigo e, apesar de algumas de suas recomendações serem pertinentes às atividades de salvamento em soterramento, as descrições dos procedimentos operacionais para a busca e o salvamento não são bem definidos e nem detalhados. Visando superar estas limitações, explicita-se a seguir uma sistemática geral e mais detalhada dos procedimentos de busca e salvamento de pessoas a serem adotados pelos bombeiros em ocorrências de soterramento.

## 2.4 TÉCNICAS DE BUSCA E DE SALVAMENTO

A literatura especializada e as referências nacionais e internacionais relativas à atuação de bombeiros não apresentam um conceito definido e abrangente do que seria 'busca' mas, levando-se em consideração a experiência e os procedimentos operacionais adotados em campo pelo CBMMG, pode-se defini-la como sendo o termo genérico utilizado para referir-se a todo o conjunto de ações destinadas à localização de uma pessoa ou objeto da qual em princípio não se conhece o paradeiro.

Nas diferentes ações de busca, os bombeiros utilizam as seguintes técnicas (Figura 2.2):

a) Visual – Busca na tentativa de localizar um objeto ou pessoa desaparecido no campo de visão dos militares, podendo ser empregados binóculos ou mesmo Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT´s) munidos de câmeras, que viabilizam o contato visual com áreas remotas e/ou de riscos elevados para a ação direta dos bombeiros;

b) Chamado e escuta – Técnica utilizada em conjunto com a busca visual, quando se busca por pessoas não identificadas, fazendo-se uso da voz em chamamentos e escutas de eventuais respostas ou emissões de sons de qualquer natureza. Esta técnica é utilizada na busca de pessoas 'perdidas' em matas e/ou presas em

estruturas colapsadas ou sob deslizamentos, quando não se tem a mínima ideia da localização da vítima;

c) Utilização de Cães – A utilização de cães de busca é uma das mais eficientes técnicas existentes, tendo em vista que um cão bem treinado pode varrer em uma hora uma área que seriam necessários 80 bombeiros para realizar as buscas. Além disso, os cães conseguem localizar a vítima simplesmente pelo odor, sem apoio de sons ou mesmo que esteja inconsciente;

d) Equipamentos de captação sonora – É uma nova tecnologia que visa captar ruídos mínimos feitos pela vítima para se fazer a sua detecção espacial, sem uma definição exata de sua localização (trata-se de uma técnica de detecção espacial da vítima, mas não da sua localização);

e) Identificador de $CO^2$ - É um aparelho capaz de detectar a concentração de dióxido de carbono em pontos localizados. É muito utilizado para confirmar a existência de vítimas inconscientes em determinado ponto, enfatizando-se, porém, que o resultado pode estar associado à presença de animais e não de pessoas;

f) Câmera termal – Utilização de uma câmera especial que consegue captar a emissão de calor de qualquer fonte, não necessariamente de uma pessoa, mas que fornece indícios gerais para a realização de uma busca mais minuciosa em determinados locais.

g) Videocâmeras com cabos flexíveis – vídeocâmeras tipo LED, dotadas de cabos flexíveis, capazes de serem introduzidas em aberturas e passagens estreitas, com visualização contínua na tela do equipamento. Tratam-se de dispositivos muito interessantes na busca de potenciais sobreviventes e na prevenção de escavações desnecessárias.

Christofferson (2006), em pesquisa para o departamento do Corpo de Bombeiros da Suíça, analisou e comparou diversas técnicas de busca efetuadas por bombeiros no mundo e constatou que a utilização de cães mostrou ser a mais eficiente: os animais detectavam e localizavam as vítimas com maior frequência e exatidão que os outros métodos.

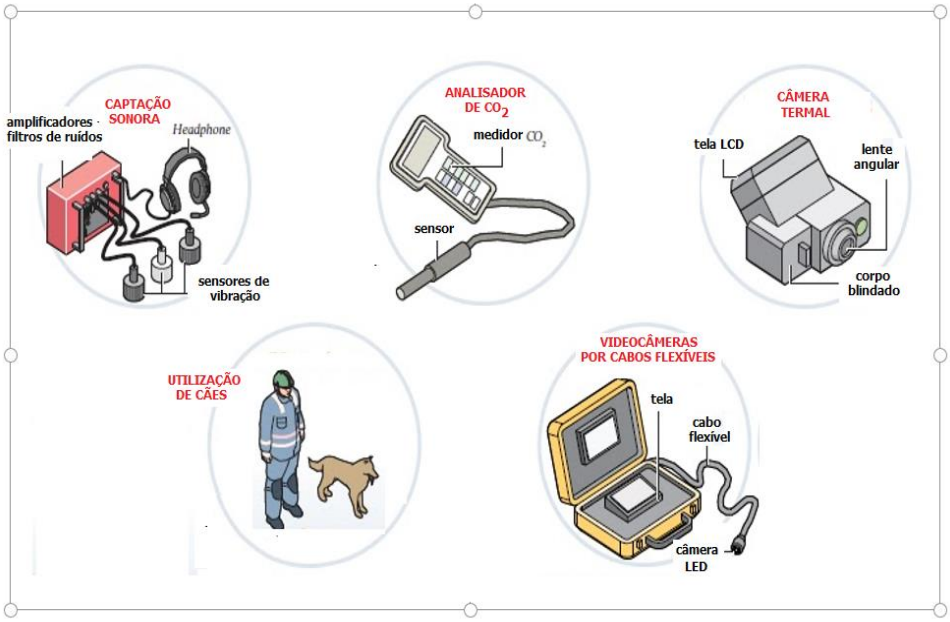



Figura 2.2– Diferentes equipamentos e técnicas de busca (disponível em: http://news.bbc.co.uk/2/hi/8459653.stm)

Os cães também levavam a vantagem de conseguirem detectar vítimas em óbito e auxiliar na localização dos seus corpos, sendo que este tipo de localização se torna quase remoto com os demais métodos de busca. Há de se destacar que a pesquisa realizada por Christoffersson (2006) considerou buscas efetuadas em locais de terremoto e não em áreas deslizadas e com pessoas soterradas.

Os cães de busca e salvamento levam cerca de 2 anos para estarem prontos para trabalhar encontrando pessoas vivas e corpos, quase sempre sendo habilitados para atuarem em cenários específicos, como estruturas colapsadas e zonas rurais. A partir das experiências acumuladas com desastres naturais ocorridos no Brasil nos últimos anos, os treinamentos dos cães têm sido extrapolados para diferentes tipos de desastres, particularmente nos casos de movimentos de massa e busca de pessoas soterradas.

No caso de uma estrutura colapsada (induzida por um evento sísmico, por exemplo), muitas pessoas tendem a ficar confinadas pelos escombros nos chamados ‘Espaços Vitais Isolados’ (EVI) ou células vitais (Figura 2.3). Estes locais possibilitam à vítima ter um certo espaço para respirar, para gritar e até mesmo permitem que os odores sejam mais facilmente captados pelos cães de busca e salvamento. No caso de soterramento, estes espaços vitais são praticamente inexistentes, uma vez que o solo fluidificado ocupa como

se fosse água os espaços que poderiam existir. Os cães não são importantes somente para a indicação da localização da vítima, mas também para a eliminação de extensas áreas, uma vez que o cão não sinalize e infere-se que não há vítimas no local.

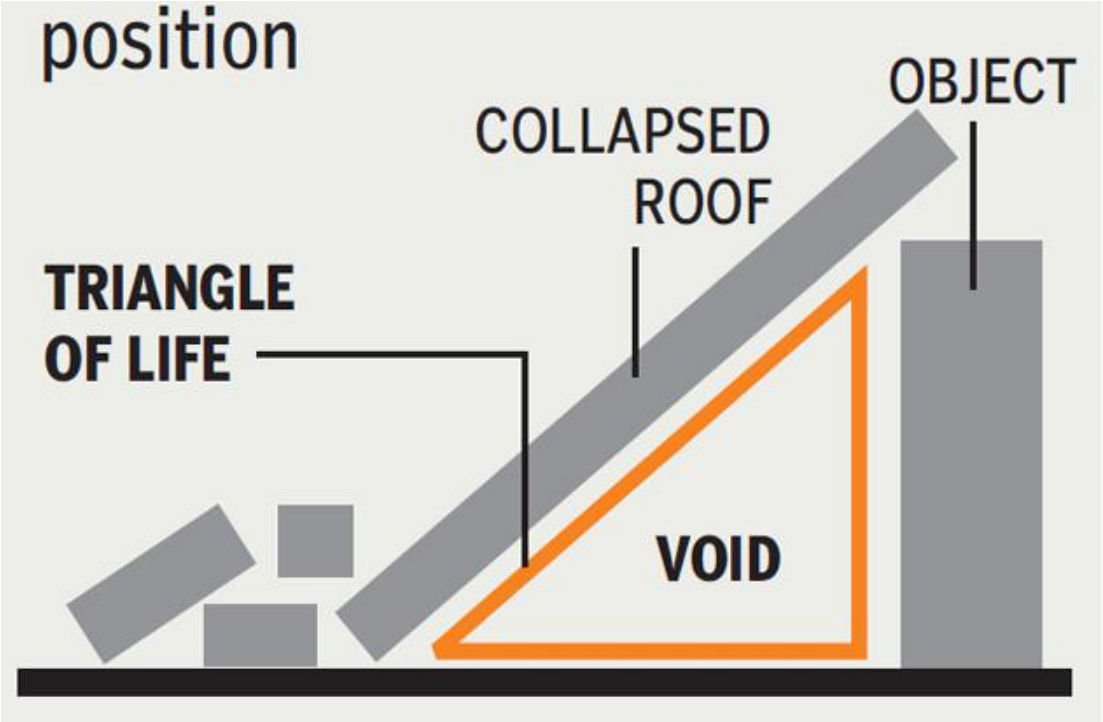



Figura 2.3 – Formação de células vitais em estruturas colapsadas
(http://www.viral4real.com/the-triangle-of-life, 2015)

Em países afetados por eventos sísmicos, a população em geral tem o conhecimento destas informações, participam de simulações e tendem a seguir rigorosamente as orientações dos órgãos competentes. Em desastres de grande porte, muitas pessoas ficam confinadas sob os escombros por até vários dias. As taxas de sobrevivência variam exponencialmente com o tempo de confinamento, mas a chance de sobrevida após 120 horas tende a ser mínima (Figura 2.4).

Nos casos típicos de eventos de movimentos de massa em países tropicais, os dados e as referências disponíveis são mínimas e pouco confiáveis. No desastre ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, classificado pela ONU como o 8º pior desastre de deslizamento de terra da história, um homem foi encontrado vivo mesmo após 12 dias de soterramento, apesar da taxa de sobrevivência ter sido muito baixa; até hoje algumas pessoas vitimadas não foram encontradas devido ao porte do evento e, assim,

foram registradas como desaparecidas para fins estatísticos.

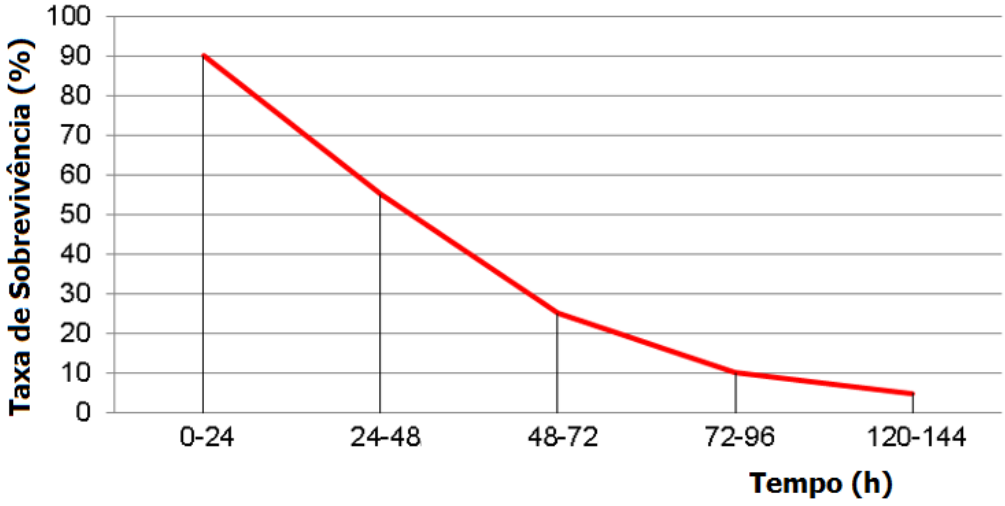



Figura 2.4 – Taxas de sobrevivência x tempos (http://www.cs.nccu.edu.tw, 2014)

Entretanto nesse evento, o número de vítimas pode ser muito maior. Com efeito, como algumas comunidades foram totalmente soterradas, não houve quem pudesse relatar a perda ou o desaparecimento das pessoas. Esta possibilidade decorre do fato de que as companhias energéticas detectaram um número muito maior de relógios de luz desligados do que a soma total de pessoas mortas ou desaparecidas no evento.

Uma observação importante é que o salvamento consiste em um conjunto de ações técnicas e táticas de socorro para se fazer a retirada de uma vítima de determinada situação que tenda a comprometer a sua vida. Um exemplo típico é a técnica de extricação no caso de acidentes automobilísticos, que consiste em remover as ferragens para que não ocorram danos ainda maiores à vítima a ser salva.

O salvamento em desastres de grande magnitude como soterramentos e terremotos só pode ser realizado após a localização exata da vítima. Assim sendo, a grande lacuna na taxa de sobrevivência não está exatamente nas limitações das técnicas empregadas de salvamento, que são bem conhecidas difundidas e treinadas, mas nos prazos para a localização das vítimas. Quanto mais rápido for a localização de uma pessoa, mais chances ela terá de sobreviver após as ações de salvamentos terem sido realizadas.

Nessa questão, encontra-se o grande problema do soterramento em relação às ocorrências envolvendo estruturas colapsadas. É muito mais fácil detectar alguém em escombros do que alguém que tenha sido soterrado. Até mesmo cães treinados têm grandes dificuldades de encontrar pessoas soterradas, ainda mais dependendo da profundidade do soterramento. Neste contexto, torna-se imprescindível desenvolver alguma metodologia que permita a localização de pessoas soterradas em tempos reduzidos e factíveis para a sua sobrevivência posterior. Superar este gargalo operacional certamente seria uma grande contribuição às ações de busca e de salvamento de pessoas soterradas em eventos associados a movimentos de massa.

# CAPÍTULO 3

## ESTUDO DE CASO I: RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DA HERCULANO MINERAÇÃO

### 3.1 HISTÓRICO DA OPERAÇÃO

No dia 17 de setembro de 2014, por volta de 08:00h, o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais foi acionado para atender um chamado relativo à ruptura de uma barragem localizada no município de Itabirito, no domínio de atuação da Mineradora Herculano. No histórico da ocorrência, constava basicamente que a barragem havia rompido e várias pessoas haviam sido soterradas, não sendo estabelecidos o número de vítimas e a extensão dos danos.

Tendo em vista que se tratava de uma ocorrência complexa e considerando que a maioria dos militares desconhecia a localização exata do empreendimento (Figura 3.1), o helicóptero dos bombeiros foi acionado no intuito de acelerar o deslocamento das equipes técnicas.

Figura 3.1 – Local do acidente na Mineração Herculano (Disponivel em: www.uai.com.br , 2014)

Acessado o local por aeronave e feito um primeiro sobrevoo (Figura 3.2), por se tratar de uma planta não conhecida por nenhum dos bombeiros envolvidos, houve muita dificuldade de se compreender de imediato a dinâmica própria do acidente, considerando as dificuldades associadas a interpretação do contexto de uma determinada região, a partir de uma vista aérea geral sem conhecimento por terra. Após o pouso da aeronave, buscou-se inicialmente informações quanto ao número de vítimas envolvidas e desaparecidas no local, porém os funcionários da mineradora não faziam ideia da quantidade de vítimas nem a possível localização delas.

Figura 3.2 – Visão aérea inicial do acidente (fonte: o autor)

Diante da situação, procedeu-se, então, à chamada nominal de todos os funcionários da empresa a fim de se verificar potenciais desaparecidos. Concomitantemente, durante o sobrevoo, fez-se a localização de uma pessoa presa dentro de um caminhão e de outra na superfície da massa deslizada. Duas equipes de bombeiros foram deslocadas imediatamente para estes locais de modo a resgatar estas vítimas.

Durante o processo de busca por terra, porém, as equipes verificaram ser praticamente inviável o deslocamento através da massa deslizada, e alguns militares relataram que tinham a impressão de se moverem em ‘areia movediça’, em função da massa saturada (Figura 3.3) e sem quaisquer pontos de apoio de maior resistência no terreno.

Figura 3.3 – Vista parcial da massa de solo deslizada (Disponível em: www.g1.globo.com , 2014)

Impôs-se, portanto, a utilização da aeronave para o deslocamento dos militares nestas operações de resgate. O operário preso no caminhão foi retirado com vida, ao passo que o outro, um topógrafo da mineração, foi encontrado já sem vida na superfície da massa deslizada. Adicionalmente, outra equipe de resgate tentou acessar a carroceria exposta de outro caminhão no interior da massa instabilizada, visando resgatar o motorista dado como desaparecido.

Por volta de 14:00h, a cabine do caminhão foi acessada e procedeu-se a um amplo processo de escavação no seu entorno na tentativa de encontrar o corpo do motorista. Até este horário, a empresa não havia concluído o levantamento de todos os potenciais funcionários (próprios e terceirizados) desaparecidos, este número ainda era incerto e desconhecido. Por volta de 18:00h, o corpo do motorista do caminhão foi encontrado e resgatado das ferragens do veículo.

Considerando-se as dificuldades de se locomover no terreno e a inexistência de quaisquer considerações relativas à estabilidade da massa deslizada e das demais barragens integrantes do complexo, definiu-se pelo encerramento das atividades de busca por volta de 20:00h neste primeiro dia de operação.

Por volta de 06:00h do dia seguinte, os serviços foram retomados mediante a inspeção técnica dos outros barramentos da mineração, de forma a garantir a segurança dos militares investidos nas operações de busca no domínio da massa deslizada. Naquele momento, ainda que estas informações não fossem definitivas, trabalhava-se com a hipótese de resgate de mais um desaparecido, um condutor de uma escavadeira. Às 13:00h, a informação foi confirmada e, assim, os trabalhos ficaram limitados ao resgate do corpo deste último operário desaparecido, que se constituiu na etapa mais difícil e exaustiva de toda a operação (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Operações de busca do corpo desaparecido

## 3.2 TÉCNICAS DE BUSCA UTILIZADAS

A situação era bastante complexa, numa extensa área de lama saturada e compressível, envolvida pelos corpos remanescentes das estruturas rompidas, os bombeiros buscavam um corpo desaparecido no interior de uma massa deslizada oriunda de uma ruptura rápida e de grandes proporções. Um laudo preliminar atestava complementarmente as péssimas condições de estabilidades locais, com a possibilidade de reativação do processo de ruptura em zonas do maciço previamente afetado.

Tornava-se fundamental, portanto, estabelecer uma estratégia de buscas que tivesse um caráter prévio de orientação espacial para uma possível localização do corpo e que, ao mesmo tempo, garantisse a integridade das equipes de busca face à possibilidade de novos processos de instabilidade da massa rompida.

Considerando as práticas internacionais da *International Search and Rescue Advisory Group* comumente empregadas neste tipo de abordagem de sinistros, estabeleceu-se que:

(i) impossibilidade de utilização de equipamentos pesados para a remoção da massa mobilizada, considerando a instabilidade do terreno e o contexto da área de risco como um todo;

(ii) a adoção da técnica combinada de busca visual com chamamentos e escuta, embora empregada em zonas específicas, não era possível considerando a extensão da área total do acidente e as enormes dificuldades de deslocamento de pessoal através dela;

(iii) impossibilidade de aplicação de um dispositivo tipo VANT, uma vez que a dinâmica da ruptura levava a desconsiderar a hipótese do corpo encontrar-se à superfície do terreno (o que exigia uma técnica para busca de um corpo soterrado);

(iv) Adoção de uma técnica por acesso local dos bombeiros, em áreas mais passíveis de deslocamento direto, embora exigindo a mobilização de diferentes equipes e com prazos certamente mais demorados. A técnica adotada consistiu na utilização de bastões de tato; o bombeiro, munido com uma haste de cerca de 2,0m de comprimento, avançava tateando a lama superficial e utilizando a haste em profundidade, buscando interceptar resistências específicas, como o corpo a ser encontrado; a aplicabilidade da técnica ficou restrita a áreas muito específicas da massa total deslizada e os resultados só seriam consistentes se o corpo estivesse localizado nas zonas mais limítrofes do domínio do acidente, o que não se verificou em termos práticos;

(v) utilização de buscas por meio de cães treinados (à época do acidente, o CBMMG possuía cães treinados em Uberaba/MG, mas não exatamente habilitados neste tipo de busca em particular).

Após solicitação formal, dois cães foram deslocados para o local do acidente, 5 dias após a ruptura e foram colocados imediatamente nas operações de busca, assessorados diariamente por cerca de 30 militares, em períodos que estendiam desde às 06:00h até o anoitecer. Em ocasiões diversas, mediante uma sinalização prévia dos animais, foram demarcadas áreas de busca concentrada, em extensões de até 300m$^2$ e em pontos com até 10,0m de profundidade, que foram totalmente escavados sem atingir o solo natural e sem sucesso em termos do resgate ao corpo desaparecido.

Diante das circunstâncias, refez-se a perspectiva da dinâmica local do acidente com base na movimentação da escavadeira conduzida pelo operário e de alguns pontos fixos próximos, como árvores por exemplo. As operações não surtiram o efeito desejado apesar da intensidade das buscas concentradas nas direções que se mostravam mais passíveis dos deslocamentos.

No 14º dia de operações, um laudo mais específico recomendava a imediata paralisação dos serviços de busca diante da possibilidade iminente de um novo escorregamento na área. Assim, no 15º dia, as operações de busca foram suspensas até que a empresa realizasse obras de estabilização complementares das barragens para garantir a segurança da continuidade dos trabalhos de busca.

Não se confirmando o resgate do corpo, não foi possível atestar juridicamente a morte do operário, com impactos diretos, sociais e psicológicos, sobre seus familiares. Não se descartando a possibilidade de resgate do operário ainda com vida, conforme relatos de acidentes similares de pessoas que sobreviveram por mais de um mês, não foi permitida a atuação do CBMMG no local por meio do tráfego de equipamentos de grande porte, inviabilizando, assim, a continuidade dos trabalhos.

Esta interrupção se delongou por um período da ordem de semanas e, finalmente, o corpo foi encontrado por meio de um fato singular. Um cão local começou a escavar o terreno já bem consolidado, num ponto específico da área do deslizamento, chamando a atenção dos bombeiros. Embora sem perceberem nada de especial, os bombeiros escavaram o local e realmente encontraram o corpo do operário soterrado, a aproximadamente 10,0m de profundidade.

## 3.3 CUSTOS DAS OPERAÇÕES DE BUSCA

Para demonstrar claramente o impacto das operações e técnicas de busca de pessoas soterradas, a análise dos impactos econômicos envolvidos é bastante didática e muito objetiva. Neste contexto, torna-se de particular interesse o levantamento completo dos custos associados às ações do CBMMG no acidente da ruptura da Mineração Herculano, embora não sejam assim tão simples e fáceis de quantificação.

De uma maneira geral, estes custos apresentam diferentes interfaces e a influência de vários fatores, tais como:

- Hora-homem – é o custo da hora trabalhada por cada militar de acordo com o seu posto ou graduação. Cotidianamente um bombeiro do serviço operacional trabalha 24 horas e folga 72 horas mas, em situações de desastres ou de ocorrências complexas, o militar trabalha em um regime de revezamento diferente a fim de não se perder o trabalho feito anteriormente. Isso porque, caso os bombeiros fossem substituídos todos os dias, certamente uma grande parte dos trabalhos de busca seriam perdidos e/ou refeitos desnecessariamente, uma vez que existe a tendência de se verificar e procurar novamente em um local que já foi analisado, perdendo-se um tempo precioso da busca;

- Empenho de viatura – a viatura que transporta não só o militar como também o seu material operacional tem que ficar à disposição do evento para dar suporte físico à operação, deixando, então, de atender outras chamadas e fazer a cobertura logística de outros acidentes;

- Empenho de aeronave – em se tratando da natureza do acidente e das condições adversas de instabilidade em campo, fez-se uso sistemático de aeronave para se fazer uma varredura da extensa área e evitar a exposição dos militares em áreas de grande risco geotécnico;

- Perda/depreciação de equipamentos – muitos equipamentos são perdidos e inutilizados durante uma operação, considerando o seu desgaste natural ou extraordinário devido ao uso em condições extremas. Pás e enxadas foram

perdidos ou quebrados, cordas foram inutilizadas por abrasão para o trabalho de resgate de cargas humanas, equipamentos de proteção individual são danificados e/ou inutilizados, etc;

- Prejuízo social individual – cada militar empenhado em uma operação como esta possui tarefas familiares, acadêmicas e sociais que ficam comprometidas por completo neste período de atividades contínuas e concentradas de um acidente de grande magnitude, gerando transtornos econômicos indiretos de difícil avaliação (concentração das tarefas familiares aos cônjuges, atraso de pagamentos, falta aos cursos em andamento, etc);

- Dano psicológico – muitos bombeiros, após eventos estressantes e cansativos como este, padecem da chamada *síndrome de Burnout*, que implica a necessidade de licenciamento ou mesmo afastamento do serviço por questões de ordem emocional e/ou psicológica, envolvendo mortes de terceiros e resgate de corpos de pessoas falecidas em desastres naturais.

Para fins de estimativa de valores, foram utilizados os custos diários (denominados Taxas de Segurança Pública - TSP) de mobilização de cada profissional dos bombeiros, do caminhão de autosalvamento (AB), das viaturas tipo ASL para atender vítimas de soterramento e da aeronave Arcanjo, expressos em valores unitários próprios (UFEMG = R$2,5016) e pré-fixados em planilha específica pelo Estado de Minas Gerais (Anexo I). Os dados econômicos não objetivos, pelas dificuldades inerentes à sua medição, não foram considerados nestas planilhas de custos.

O último corpo só foi encontrado no dia 20 de novembro de 2014, sendo que desde o dia 25 de setembro, quando as buscas foram interrompidas, o CBMMG mobilizou uma equipe técnica à Mineração Herculano a cada dois dias, para acompanhamento e ciência das operações de estabilização das barragens então em andamento (período de atuação da ordem de dois meses adicionais). Para fins da estimativa dos custos, considerou-se apenas os dispêndios realizados durante os primeiros 15 dias de operação (Tabelas 3.1 a 3.16), sem incorporar os custos complementares devido aos trabalhos de acompanhamento das obras de estabilização e de resgate do último corpo.

Tabela 3.1 – Estimativas dos Valores de TSP – 1º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 40 | 24,0 | 2,5016 | 24.015,36 |
| Caminhão AB | 93,04 | 3 | 24,0 | 2,5016 | 16.757,92 |
| Viatura ASL | 89,58 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 10.756,48 |
| Aeronave | 1.725,38 | 3 | 12,0 | 2,5016 | 155.383,58 |
| | Total | | | | **206.913,34** |

Tabela 3.2 – Estimativas dos Valores de TSP – 2º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 30 | 24,0 | 2,5016 | 18.011,52 |
| Caminhão AB | 93,04 | 3 | 24,0 | 2,5016 | 16.757,92 |
| Viatura ASL | 89,58 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 10.756,48 |
| Aeronave | 1.725,38 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 51.794,53 |
| | Total | | | | **97.320,45** |

Tabela 3.3 – Estimativas dos Valores de TSP – 3º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 30 | 24,0 | 2,5016 | 18.011,52 |
| Caminhão AB | 93,04 | 3 | 24,0 | 2,5016 | 16.757,92 |
| Viatura ASL | 89,58 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 10.756,48 |
| Aeronave | 1.725,38 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 51.794,53 |
| | Total | | | | **97.320,45** |

Tabela 3.4 – Estimativas dos Valores de TSP – 4º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 30 | 24,0 | 2,5016 | 18.011,52 |
| Caminhão AB | 93,04 | 3 | 24,0 | 2,5016 | 16.757,92 |
| Viatura ASL | 89,58 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 10.756,48 |
| | Total | | | | **45.525,92** |

Tabela 3.5 – Estimativas dos Valores de TSP – 5º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 25 | 24,0 | 2,5016 | 15.009,60 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 11.171,95 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 24,0 | 2,5016 | 5.378,24 |
| | Total | | | | **31.559,79** |

Tabela 3.6 – Estimativas dos Valores de TSP – 6º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 25 | 24,0 | 2,5016 | 15.009,60 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 11.171,95 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 24,0 | 2,5016 | 5.378,24 |
| | Total | | | | **31.559,79** |

Tabela 3.7 – Estimativas dos Valores de TSP – 7º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 25 | 24,0 | 2,5016 | 15.009,60 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 11.171,95 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 24,0 | 2,5016 | 5.378,24 |
| | Total | | | | **31.559,79** |

Tabela 3.8 – Estimativas dos Valores de TSP – 8º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 25 | 24,0 | 2,5016 | 15.009,60 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 24,0 | 2,5016 | 11.171,95 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 24,0 | 2,5016 | 5.378,24 |
| | Total | | | | **31.559,79** |

Tabela 3.9 – Estimativas dos Valores de TSP – 9º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 25 | 12,0 | 2,5016 | 7.504,80 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **15.779,89** |

Tabela 3.10 – Estimativas dos Valores de TSP – 10º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 15 | 12,0 | 2,5016 | 4.502,88 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **12.777,97** |

Tabela 3.11 – Estimativas dos Valores de TSP – 11º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 15 | 12,0 | 2,5016 | 4.502,88 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **12.777,97** |

Tabela 3.12 – Estimativas dos Valores de TSP – 12º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 15 | 12,0 | 2,5016 | 4.502,88 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **12.777,97** |

Tabela 3.13 – Estimativas dos Valores de TSP – 13º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 15 | 12,0 | 2,5016 | 4.502,88 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **12.777,97** |

Tabela 3.14 – Estimativas dos Valores de TSP – 14º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 15 | 12,0 | 2,5016 | 4.502,88 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **12.777,97** |

Tabela 3.15 – Estimativas dos Valores de TSP – 15º dia de operação

| Tipo | UFEMG | Qtde | Horas | Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Homens | 10,00 | 15 | 12,0 | 2,5016 | 4.502,88 |
| Caminhão AB | 93,04 | 2 | 12,0 | 2,5016 | 5.585,97 |
| Viatura ASL | 89,58 | 1 | 12,0 | 2,5016 | 2.689,12 |
| | Total | | | | **12.777,97** |

Tabela 3.16 – Custos parciais e total da Operação Herculano

| Dia | Total (R$) |
|---|---|
| 1º Dia | 206.913,34 |
| 2º Dia | 97.320,45 |
| 3º Dia | 97.320,45 |
| 4º Dia | 45.525,92 |
| 5º Dia | 31.559,79 |
| 6º Dia | 31.559,79 |
| 7º Dia | 31.559,79 |
| 8º Dia | 31.559,79 |
| 9º Dia | 15.779,89 |
| 10º Dia | 12.777,97 |
| 11º Dia | 12.777,97 |

| | |
|---|---|
| 12º Dia | 12.777,97 |
| 13º Dia | 12.777,97 |
| 14º Dia | 12.777,97 |
| 15º Dia | 12.777,97 |
| Total | **665.767,02** |

O montante total, da ordem de R$ 665.767,02, refere-se apenas aos tributos relativos ao efetivo e equipamentos mobilizados pelo CBMMG, sendo que vários outros órgãos do Estado como Policia Militar, Policia Civil, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento e Ministério Público atuaram no evento por períodos de vários dias ou semanas.

A compilação destes custos globais é uma forma bastante objetiva de demonstrar como uma operação desta envergadura é onerosa, sobrepondo-se valores elevados à medida em que os trabalhos se acumulam sem a sua efetiva conclusão (no caso, o resgate do corpo do operário morto). Uma técnica de busca mais efetiva e mais rápida tem um impacto extraordinário sobre os custos associados a eventos de movimentos de massa envolvendo o soterramento de pessoas.

# CAPÍTULO 4

## ESTUDO DE CASO II: RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DA SAMARCO MINERAÇÃO

### 4.1 HISTÓRICO DA RUPTURA DA BARRAGEM

Na Samarco Mineração S.A., o beneficiamento da planta industrial de minério de ferro gerava dois diferentes tipos de rejeitos – rejeitos granulares e rejeitos finos ou lamas – que apresentam características geotécnicas bastante distintas. Ambos os rejeitos eram liberados sob a forma de polpa e lançados em reservatórios de grandes barragens de contenção.

No complexo do empreendimento, estes rejeitos eram lançados em diferentes espaços, que incluíam a Barragem do Germano e a chamada cava exaurida de Germano. As águas afluentes eram direcionadas a jusante para o reservatório da Barragem de Santarém. Em 2005, para suprir as produções sempre crescentes, impôs-se a necessidade de uma nova estrutura de contenção dos rejeitos – chamada Barragem do Fundão, optando-se pela sua implantação em vale adjacente à Barragem do Germano (Figura 4.1).

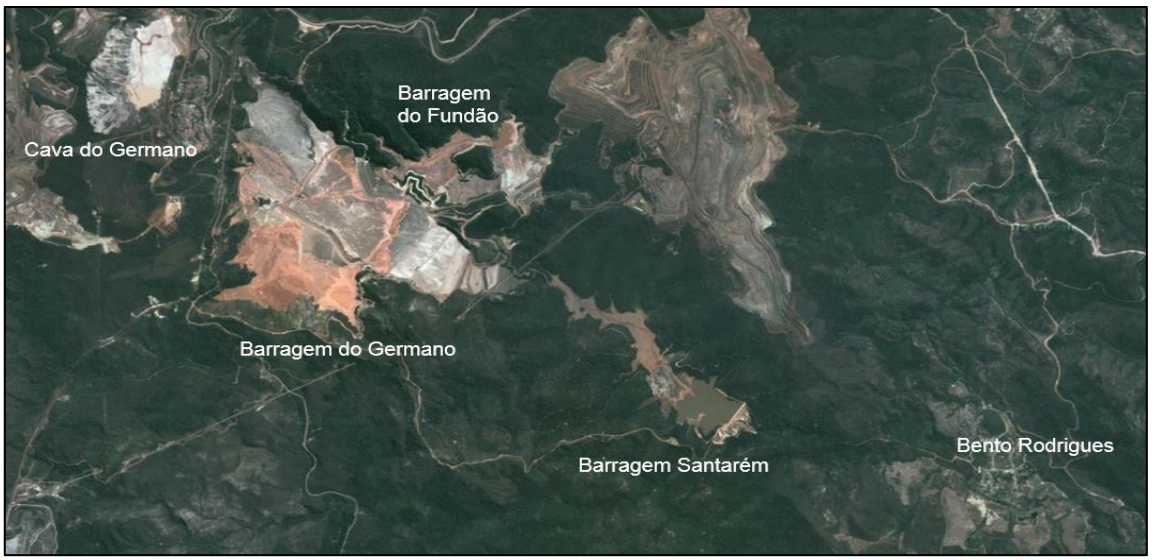



Figura 4.1 – Complexo Germano da Samarco Mineração (Fonte: Google Earth)

Na Barragem do Fundão, os rejeitos granulares em lama eram lançados separadamente e confinados por dois diques 1 e 2. O dique de partida do Dique 1 era composto por um aterro convencional em solo compactado até a crista na elevação 830 m, com subsequente alteamento de montante com rejeitos arenosos até a elevação 920 m. Um sistema desta natureza era vulnerável em termos da manutenção das proporções relativas entre os dois rejeitos e da eficiência do sistema de drenagem interna da barragem (Morgenstern *et al*., 2016).

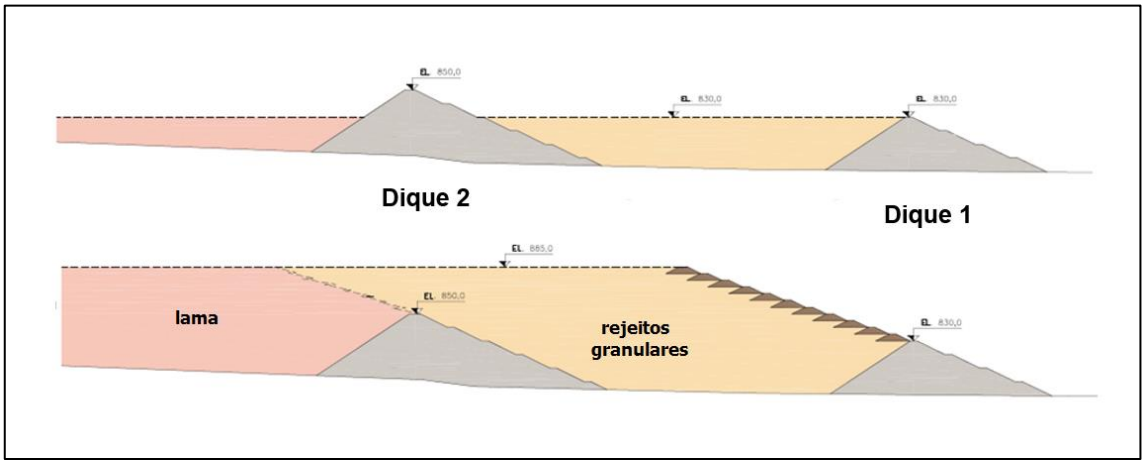



Figura 4.2 – Diques 1 e 3 da Barragem do Fundão (Morgenstern *et al*., 2016)

Uma série de eventos combinados contribuiu para uma perda generalizada do controle das condições de separação dos dois rejeitos e de uma adequada drenagem das águas intersticiais, o que levou à ruptura completa da Barragem do Fundão. A ruptura ocorreu devido ao fenômeno da liquefação e teve início na ombreira esquerda da barragem, de acordo com a seguinte sequência de eventos:

> Na tarde de 05 de novembro de 2015, a Barragem de Rejeitos de Fundão em Minas Gerais entrou em colapso. Sua crista tinha alcançado a elevação 900 m, resultando em uma barragem com altura igual a 110 m. Várias dezenas de pessoas estavam trabalhando sobre ou perto da barragem naquele momento. Alguns trabalhadores estavam transportando e espalhando rejeitos para altear a barragem, outros estavam construindo tapetes drenantes de brita em antecipação à próxima fase de construção, e outros, ainda, estavam envolvidos nas atividades diárias necessárias para operar e manter o sistema de rejeitos.
>
> Em algum momento após as 14:00 horas, muitos no complexo das instalações de Germano sentiram um tremor que durou vários segundos. Embora janelas tenham sacudido e objetos caído das mesas, aparentemente não houve qualquer dano sério. O

> trabalho foi retomado.

Às 15:45, gritos foram ouvidos nos rádios avisando que a barragem estava desmoronando. Uma nuvem de pó se formou sobre a ombreira esquerda, e aqueles mais próximos à área designada como "recuo" podiam ver trincas se formando no tapete drenante recém-construído. O talude acima deles estava começando a se mover “como uma onda” como se estivesse “derretendo”, trazendo a crista da barragem para baixo. Os rejeitos que eram considerados terreno firme apenas minutos antes se transformaram em um rio turbulento, galgando (transpondo), mas não rompendo a Barragem de Santarém logo a jusante para, em seguida entrar no distrito de Bento Rodrigues seguindo a rota para seu destino final no mar’ (Morgenstern *et al*., 2016).

## 4.2 DINÂMICA DO PROCESSO DA RUPTURA E DO FLUXO DE REJEITOS

Na condição construtiva no início de novembro de 2015, a Barragem do Fundão apresentava uma altura de 110m e um volume de rejeitos armazenados da ordem de 52 $Mm^3$. Com o avanço contínuo da lama sobre os rejeitos arenosos, a condição de saturação do maciço atingiu níveis críticos que, sob a ação da intensa movimentação de pessoas no local (e mesmo devido aos pequenos sismos que ocorreram naquele momento) propiciou a indução da liquefação dos rejeitos estocados e uma ruptura global da barragem. O relatório técnico final da ruptura detalha a sequência dos eventos críticos ocorridos a partir das observações feitas por diferentes testemunhas oculares (Figura 4.3).

> ‘A primeira coisa que foi notada por muitos trabalhadores na barragem, incluindo aqueles nas posições 4 e 6, foi uma nuvem de poeira subindo no lado esquerdo... Um trabalhador na posição 4 observou ondas se formando na porção central do reservatório, acompanhada de trincas ...e blocos de areia movendo-se para cima e para baixo no recuo da ombreira esquerda. Outro trabalhador na posição 5 viu uma trinca se abrir ao longo da crista do recuo da ombreira esquerda... e propagar em ambos os sentidos, começando mais perto da ombreira esquerda, atingindo-a, e então progredindo para a direita.

Figura 4.3 – Localização das testemunhas presentes à ruptura da barragem (Morgenstern *et al*., 2016)

Na posição 9 no pé da barragem, testemunhas observaram uma avalanche de rejeitos similares à lama caindo em cascata, a partir da ombreira esquerda, mas nenhuma movimentação do dique de partida. Estas observações estabelecem que a ruptura teve origem no recuo da ombreira esquerda e que o dique de partida não participou do mecanismo de ruptura' (Morgenstern *et al*., 2016).

A sequência completa dos eventos, com base no depoimento das diferentes testemunhas, pode ser resumida nos seguintes pontos (Figura 4.4):

(**1**) início do mecanismo de ruptura próximo ao dreno da ombreira esquerda, com fuga de água suja e surgimento de trincas em série (testemunhas 1 e 2, em torno de 15:45h);

(**2**) deslocamento distorcional lento da parte inferior do platô, com sentido ascendente predominante (testemunhas 2, 3 e 5);

(**3**) aceleração do processo gerando um fluxo de lama generalizado e turbulento para jusante (testemunhas diversas);

(**4**) desestruturação do maciço da barragem e propagação dos efeitos da ruptura para as zonas direita e central da barragem (testemunhas diversas).

Estima-se que cerca de 32 milhões de $m^3$ de rejeitos foram liberados, o que representou cerca de 61% do material então estocado na barragem.

Figura 4.4 – Sequência dos eventos da ruptura da Barragem do Fundão (Google Earth)

A massa viscosa liberada rompeu o vale a jusante e imediatamente abaixo da Barragem do Germano (Figura 4.5), rompendo uma correia transportadora (destacada na figura) que cruzava o leito do vale cerca de 1.300 m a jusante da crista da barragem.

Figura 4.5 – Fluxo inicial da lama + rejeitos no vale a jusante (Morgenstern *et al*., 2016)

Em seguida, atingiu o reservatório da Barragem Santarém mais a jusante. Embora fosse originalmente destinada à acumulação de água, a Barragem Santarém armazenava também uma razoável quantidade de rejeitos vertidos principalmente das fases anteriores da Barragem do Germano. Em se tratando, entretanto, de uma massa predominantemente fluida, o reservatório da Barragem Santarém atuou como uma primeira estrutura de contenção e confinamento dos rejeitos liberados na ruptura da Barragem do Fundão.

A precipitação acelerada e turbulenta dos rejeitos mais densos no reservatório expulsou a água presente, sob a forma de uma grande onda que se precipitou vale abaixo, como feição inicial de uma catástrofe que iria se desencadear por centenas de quilômetros à frente. E, paradoxalmente, não ocorreu propriamente a ruptura dessa barragem, mas um galgamento da estrutura em grandes proporções (Figura 4.6).

Figura 4.6 – Barragem Santarém e Bento Rodrigues antes e após a ruptura (Google Earth)

Imediatamente à frente e no caminho direto da onda descomunal de água e lama, estava Bento Rodrigues, distrito da cidade de Mariana/MG, com uma população da ordem e 600 habitantes à época do acidente. O povoado recebeu tanto o impacto direto do fluxo principal da onda de lama como os efeitos combinados dos contrafluxos de lama em ricochete pelas encostas adjacentes, o que resultou numa destruição completa do ambiente local, processo de tal ordem que, a não ser uma pequena porção da área urbana mais elevada, nada restou do núcleo urbano original (Figura 4.7). A devastação foi de tal ordem que o distrito deverá ser remanejado e completamente reconstruído em outro local.

Figura 4.7 – Vista aérea do povoado de Bento Rodrigues após a ruptura (foto do autor)

Após passar por Bento Rodrigues e também causar grande destruição no distrito rural de Paracatu de Baixo, a lama que vazou da barragem da Samarco continuou descendo o Rio Gualaxo do Norte que se torna afluente do Rio do Carmo no município de Barra Longa (cerca de 60 km da barragem rompida). O encontro das águas aumentou os efeitos da destruição local provocada pelo fluxo de rejeitos, que atingiu a cidade de 8.000 habitantes na noite do dia 5 de novembro. Pontes, casas ribeirinhas e roças foram danificadas.

A massa de lama e rejeitos seguiu então o curso do Rio do Carmo em direção à cidade de Rio Doce, onde este rio se junta ao Rio Piranga, formando o Rio Doce. Na sequência, os rejeitos chegaram ao reservatório da barragem da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves ou UHE Candonga (Figura 4.8), localizada próximo à cidade de Ponte Nova, entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, na Zona da Mata mineira, que possuía três unidades geradoras e potência instalada de 140 MW/h.

Figura 4.8 – Fluxo dos rejeitos atravessando o reservatório e a barragem de Candonga (foto aérea autor)

Daí em diante, o rio de rejeitos atravessou uma série de municípios, entre os quais se incluem as cidades de Ipatinga, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Resplendor e Aimorés, no estado de Minas Gerais, e Baixo Guandu, Colatina e Linhares, no estado do Espírito Santo, até desembocar no mar no dia 22/11/2015, após percorrer mais de 650km de extensão (Figura 4.9).

Figura 4.9 – 'Caminho da lama' da ruptura da barragem do Fundão até o mar (disponível em: www.uai.com.br)

## 4.3 CRONOLOGIA DAS OPERAÇÕES DO CBMMG NO DIA DO EVENTO

Por volta das 16:35h do dia do acidente, a Companhia de Bombeiros de Ouro Preto recebeu um chamado por via telefônica informando a ruptura de uma barragem na cidade de Mariana, com vítimas. Na sequência das informações, relatou-se que se tratava da Barragem de rejeitos de Fundão, de propriedade da Samarco Mineração S.A.

A ocorrência foi registrada no sistema específico do Corpo de Bombeiros que fica em Belo Horizonte e, a partir daí, as outras unidades tomaram conhecimento sobre o fato. Nesta oportunidade, a corporação de Ouro Preto deslocou todo o seu efetivo (9 militares) para o local da ocorrência. Em função da natureza e dimensões do evento, o coordenador do COBOM – Centro de Operações dos Bombeiros deu ciência do acidente às autoridades e acionou o coordenador dos bombeiros da Unidade do Batalhão de Emergências Ambientais e Resposta a Desastres (BEMAD) às 16: 40h.

Acionado o plano de chamada do BEMAD, foi imediatamente contatado o Batalhão de Operações Aéreas (BOA) para condução dos militares em serviço ao local do desastre, mediante autorização prévia do comando da corporação. Uma equipe de intervenção rápida do BEMAD é acionada para acesso ao local por via aérea, enquanto outra equipe já se desloca para a mineração por via terrestre, com equipe de apoio, às 16:50h.

Às 17:00h, o comandante da Companhia de Bombeiros de Ouro Preto chega ao Mirante da Barragem do Germano e às 17:22h, os militares de Ouro Preto alcançam a margem direita do distrito de Bento Rodrigues, constatando a impossibilidade de acesso ao local por via terrestre.

Às 17:25h, a equipe de Intervenção Rápida do BEMAD embarca em duas aeronaves para deslocamento ao local do desastre, realizando sobrevoo na área de Bento Rodrigues às 18:20h. Tendo em vista a dimensão da catástrofe local e a enorme devastação do núcleo urbano do povoado, decidem rumar na direção do fluxo de lama, ultrapassando a mesma em seu trajeto e realizando pouso em município situado imediatamente a jusante e na direção de impacto direto da onda de lama (Paracatu de Baixo). Às 18:35h, foram concluídos os trabalhos de evacuação de toda a população local.

Após este trabalho, as equipes se deslocaram para o distrito de Bento Rodrigues. Sobrevoos em baixa altitude foram realizados na área para avaliação geral das consequências e impactos da ruptura no distrito e para busca de eventuais vítimas e/ou sobreviventes. Duas pessoas foram salvas no meio da lama e encaminhadas para o hospital. Com o avanço da noite e pelo impedimento de mais sobrevoos, as aeronaves foram liberadas e retornaram a Belo Horizonte às 18:50h.

Às 19:00h, em reunião com os moradores concentrados nas partes mais elevadas do povoado, a equipe dos bombeiros do BEMAD realizou um levantamento inicial sobre a situação, visando adotar as primeiras medidas emergenciais e as possíveis táticas de busca e salvamento a serem aplicadas a curto prazo. Além do estado de choque e do descontrole emocional da totalidade das pessoas locais, não se tinha ideia ainda, naquele momento, das dimensões e complexidade das operações de resgate, em função do desconhecimento da escala e da continuidade do fluxo de detritos nas áreas a jusante.

Às 19:35h, o comandante do 1º Batalhão de Bombeiros Militar (1º BBM), unidade a qual a companhia de Ouro Preto está subordinada, assumiu o comando das operações locais. Um Posto de Comando central foi instalado na sede da empresa Samarco Mineração. A rigor, com a falta de comunicação entre as equipes, a coordenação era ainda precária e muito difícil de estabelecer prioridades e deliberações assertivas.

De qualquer forma, uma vez que o relato do acidente estava direcionado a Bento Rodrigues, o foco das intervenções foi dirigido prioritariamente ao distrito. Os militares empenhados ficaram divididos nas seguintes equipes: equipe de busca e salvamento das margens, equipe de levantamento de feridos, equipe de abertura das vias de acesso ao distrito, equipe de levantamento de desaparecidos e equipe de levantamento de desabrigados. Nas circunstâncias vigentes, a comunicação ainda era bastante precária, sem possibilidade de informações entre as equipes e sem uma gestão centralizada.

A maioria das equipes se deslocou por via terrestre, seguindo rotas diferentes e com grandes dificuldades de chegada ao núcleo urbano do distrito, tal o nível da devastação existente e a supressão total dos acessos conhecidos. Neste sentido, os moradores encontravam-se francamente isolados, sem a possibilidade de acesso por via aérea.

Às 21:15h, fez-se uma projeção inicial de 30 pessoas desaparecidas em Bento Rodrigues e relatou-se não se ter nenhuma comunicação procedente de Paracatu de Baixo. Quinze minutos depois, já se tinha um levantamento preliminar que indicava que somente 32 das 188 residências de Bento Rodrigues não haviam sido atingidas pela lama.

Às 22:15h, as primeiras informações das equipes de campo em Bento Rodrigues foram recebidas pelo Posto de Comando que, somente então, teve conhecimento de que os rejeitos haviam alcançado o distrito de Paracatu de Baixo. Nesse mesmo contato, feito via telefone celular, informou-se sobre a necessidade de imediata remoção de cerca de 500 pessoas de Bento Rodrigues. Os rádios do CBMMG não transmitiam nem recebiam mensagens.

Às 23:00h, com a chegada de uma equipe da PMMG a Bento Rodrigues, após uma caminhada em mata fechada por três horas, ficou definitivamente estabelecida, pelo rádio dos policiais militares, uma comunicação direta entre as equipes de campo em Bento Rodrigues e o Posto de Comando centralizado na sede da Samarco Mineração.

É interessante mencionar que um novo alerta de ruptura, que provocou uma preocupação geral, foi emitido via rádio por funcionários da própria mineração. Nesta chamada falsa, relatou-se que a Barragem de Germano também sofrera ruptura e era imperativa a remoção de todas as pessoas ainda remanescentes em Bento Rodrigues, por se tratar de uma barragem com volume estocado de rejeitos muito maior e que, por isso, certamente a nova onda de lama iria atingir cotas muito mais elevadas que aquelas alcançadas pela onda inicial. Evidentemente, tal informação gerou uma paralisação de todas as medidas em andamento e perspectivas de abandono imediato da área. Felizmente, tratava-se de um grande equívoco e, assim, minutos depois, essa informação foi desmentida e os trabalhos de gerenciamento da ocorrência tiveram continuidade normal.

Assim, durante a noite e a madrugada seguinte, todos os esforços foram mobilizados na abertura de acessos para a evacuação dos moradores isolados de Bento Rodrigues. Muitos deles, bons conhecedores da região, rumaram em direção a áreas mais seguras e, por esta razão, aqueles que se deslocaram para áreas mais remotas foram incluídos inicialmente na listagem dos ‘desaparecidos’.

## 4.4 OPERAÇÕES DE BUSCA E SALVAMENTO DAS VÍTIMAS

A partir do dia seguinte ao acidente, e de forma cada vez maior nos dias subsequentes, ficou evidente a dimensão e a complexidade do evento. A cada dia, chegavam as informações relativas ao avanço sem fim do 'caminho da lama' e suas consequências desastrosas sobre os núcleos urbanos atravessados, sobre as colônias de pescadores, sobre as condições de abastecimento de água destas comunidades e, enfim, sobre o enorme comprometimento ambiental das bacias hidrográficas dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Rio Doce.

Nestas condições, quais os condicionantes básicos deveriam ser adotados para as operações de busca e resgate das vítimas da ruptura da Barragem do Fundão? Qual seria o padrão estabelecido a ser implantado? Como abranger uma área de busca tão extensa nos menores prazos possíveis? Estas dúvidas e muitas outras se sucediam na cadeia dos acontecimentos dos dias seguintes ao da ruptura da barragem.

A primeira iniciativa foi a de demandar sobrevoos sobre as áreas afetadas, por facilitar em muito a localização das vítimas mais expostas, numa grande extensão de terreno, e também para se evitar o contato direto dos bombeiros com os rejeitos depositados, cujo potencial de contaminação não era de todo conhecido. Nestes trabalhos, foram realizadas remoções de pessoas ilhadas e ações de socorro e de ajuda humanitária.

Uma vez confirmada a baixa toxicidade dos rejeitos, as operações diretas de busca foram iniciadas, mediante a subdivisão de várias frentes de trabalho. A ideia básica foi começar as operações por Bento Rodrigues e seguir o 'caminho da lama' para jusante, dando-se ênfase à busca nas margens do trajeto do fluxo e em possíveis zonas de anteparo e/ou contenção dos corpos como, por exemplo, o reservatório da UHE Candonga. O trecho a montante de Bento Rodrigues foi inicialmente descartado pelo risco potencial de uma nova ruptura dos rejeitos remanescentes na Barragem do Fundão.

Nestas operações, além da busca visual (corpos tendem a 'boiar' em zonas da massa mais fluida ou ficarem presos a passagens muito estreitas, por exemplo) e a feita com o auxílio de cães treinados, utilizou-se, em larga escala, a técnica dos chamados bastões de tato.

Esta técnica consiste em acessar corpos soterrados a pequenas profundidades numa massa razoavelmente fluida de detritos utilizando bastões de madeira (Figuras 4.10 e 4.11). Além da possibilidade de contato direto do bastão com o corpo soterrado, a perfuração favorece a liberação de odores que facilita a ação dos cães treinados na busca de corpos.

Figura 4.10 – Operações de busca usando bastões de tato na área de Bento Rodrigues (Fonte: Acervo Autor)

Figura 4.11 – Operações de busca usando bastões de tato em vale aberto (Acervo autor)

Cada localização de um corpo era reportada ao Posto de Comando central e devidamente registrada, conformando um cenário completo da distribuição dos resultados positivos das buscas, que norteavam os trabalhos seguintes e os diferentes estágios das operações de campo (Figura 4.12). Em todas as operações, equipes e helicópteros de apoio permitiam o rápido translado e movimentação das equipes de busca e resgate.

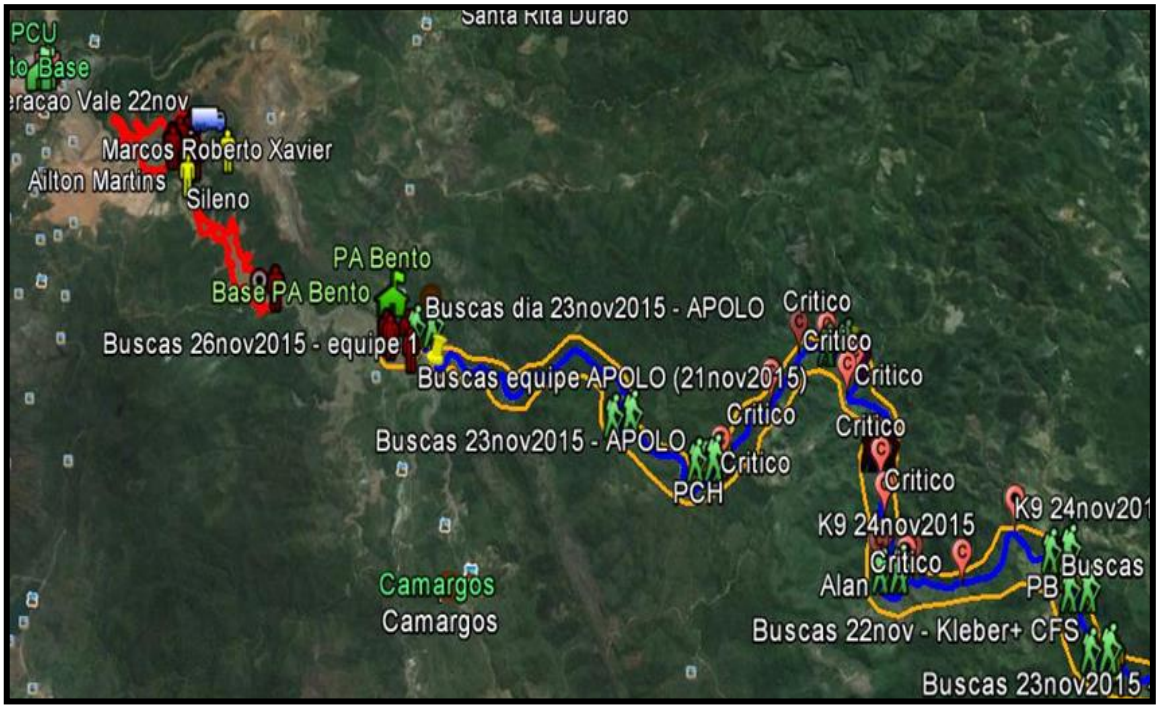



Figura 4.12 – Catalogação e registro das ocorrências de busca e resgate (CBMMG)

Os procedimentos de busca e resgate dos corpos foram formalmente dados como concluídos no dia 23/12/2015. Das 19 vítimas fatais da ruptura da barragem, 18 foram resgatadas pelo CBMMG. O último corpo, de um operário da própria mineração, nunca foi encontrado e encontra-se formalmente desaparecido, tendo sido, entretanto, declarado morto juridicamente, para fins de seguros e direitos da família.

Uma observação final em relação a estas atividades profissionais dos bombeiros é que, além de exaustivas, impõem demandas de pressões enormes sobre a efetividade e acurácia das operações de busca, que estão muito aquém da efetiva tecnologia disponível para o trabalho destes profissionais. Neste sentido, a relação expressa entre corpos resgatados / corpos vitimados das operações da Samarco Mineração (18 / 19) representa uma grande exceção, uma vez que ela está longe de representar a realidade comum entre o potencial

do resgate de pessoas soterradas e as consequências impostas pelo soterramento de grandes movimentos de massa.

Durante os 52 dias das operações, ficaram empenhados nas ocorrências 35 militares em média por dia, de forma exclusiva e em turnos de 24 horas. Nos primeiros dias, as equipes trabalharam também durante o período noturno, principalmente para a abertura de vias de acesso, evacuação das comunidades afetadas e salvamento de pessoas. Posteriormente, o trabalho durante a noite foi evitado por razões de segurança.

O aporte máximo de recursos humanos em um único dia (142) ocorreu em 13/11 (Figura 4.13) e, particularmente nos dias finais das operações (após 23/12/2015), os trabalhos se limitaram apenas à disposição de uma equipe de prontidão em caso de chamadas emergenciais.

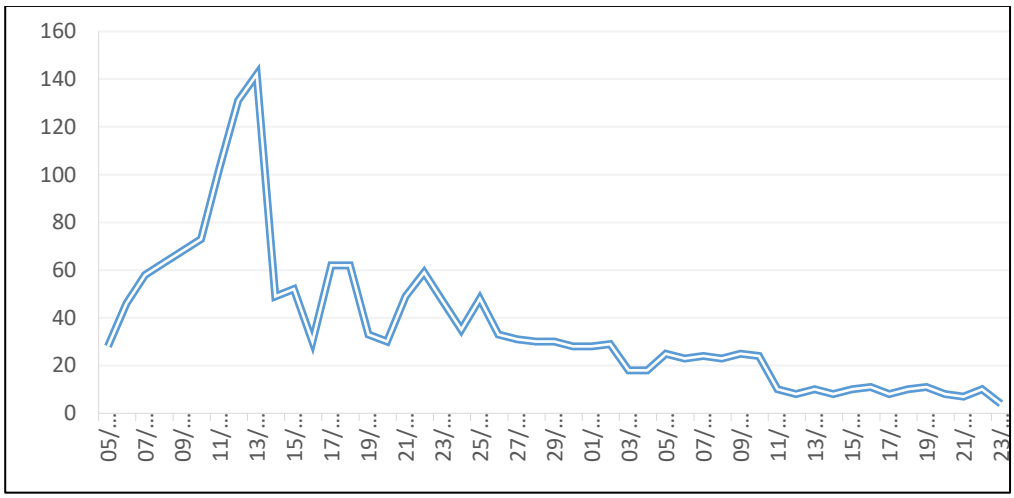



Figura 4.13 – Distribuição do efetivo do CBMMG nas operações de busca e resgate

A Figura 4.14 apresenta a distribuição das viaturas do CBMMG empenhadas durante todo o ciclo de operações de busca, salvamento e resgate das vítimas da ruptura da Barragem do Fundão. Na sua elaboração, considerou-se apenas como referência o número total de viaturas empenhadas por dia e não o número de atendimentos realizados pelos recursos disponíveis num dado dia.

No primeiro dia do acidente, dia 5/11, 3 viaturas foram mobilizadas imediatamente ao local da mineração. Entre os dias 6 e 14 de novembro, o número de viaturas oscilou entre

7 e 12; a partir do dia 15/11 e até o final das operações, o número de viaturas do CBMMG disponíveis eram normalmente 2 ou 3 (eventualmente 4).

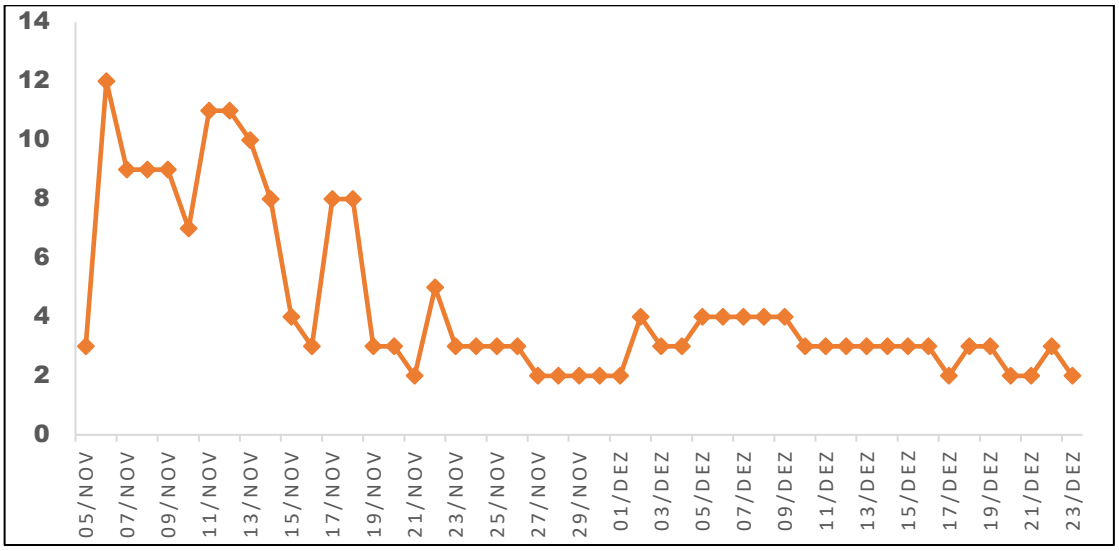



Figura 4.14 – Distribuição das viaturas do CBMMG empenhadas nas operações

## 4.5 CUSTO FINAL DAS OPERAÇÕES DO CBMMG

A operação desenvolvida após a ruptura da Barragem de Fundão desencadeou uma série de ações que posteriormente foram quantificadas pela quarta seção (logística) do Estado Maior do Corpo de Bombeiros. Estes custos levaram em conta o salário dos militares envolvidos, os custos operacionais de viaturas e aeronaves e os materiais danificados e extraviados na operação e estão, logicamente, vinculados aos elevados tempos demandados pelas operações de campo.

Os custos globais foram estimados no período entre 5 de novembro a 23 de dezembro de 2015 (20 dias de operação). Esses valores não incluem, portanto, as operações que foram implementadas posteriormente para a tentativa de recuperação da única vítima do acidente não resgatada e que, neste contexto, certamente seriam ainda maiores.

Além disso, os custos computados e sistematizados nas tabelas seguintes referem-se exclusivamente aos ônus relativos ao CBMMG, não incluindo os custos adicionais da empresa no fornecimento de alimentação, materiais, transporte, utilização de aeronaves particulares e custos demandados por outras corporações como Policia Militar, Policia Civil e órgãos da fiscalização municipal, estadual e federal.

Tabela 4.1 – Vencimento (média salarial) dos militares empregados na ocorrência (Fonte: DRH / CBMMG)

| VENCIMENTO (MÉDIA SALARIAL) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIDADE | TOTAIS | OFICIAL SUPERIOR | OFICIAL INTERMEDIÁRIO | OFICIAL SUBALTERNO | ALUNO | SUBTEN/SGT | CB/SD |
| TOTAL Nº MILITARES | 740 | 20 | 42 | 97 | 154 | 169 | 258 |
| MÉDIA SALARIAL | | 19.922,67 | 15.263,29 | 12.534,61 | 6.822,24 | 9.946,72 | 5.692,01 |
| Nº DIAS DE EMPENHO | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 |
| **TOTAL VENCIMENTO** | **6.455.527,97** | **398.453,40** | **641.058,18** | **1.215.857,17** | **1.050.624,96** | **1.680.995,68** | **1.468.538,58** |

Tabela 4.2 – Diárias pagas ao efetivo da ocorrência (Fonte: DRH / CBMMG)

| DIÁRIAS | | |
|---|---|---|
| Unidade | Número de Militares | Valor Pago |
| COB/1º BBM | 122 | 90.625,00 |
| 2º BBM | 28 | 9.543,44 |
| 3º BBM/CIR | 17 | 7.911,38 |
| 4ºBBM/2ªCIA | 35 | 63.663,08 |
| BOA | 32 | 13.544,89 |
| BEMAD | 84 | 113.757,28 |
| ABM | 160 | 54.301,50 |
| DTS/NTS | 3 | 1.506,77 |
| CIR | 9 | 4.708,92 |
| **TOTAL** | **490** | **359.562,26** |

Tabela 4.3 – Gastos de combustível com viaturas empenhadas na ocorrência (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)

| UNIDADE | QUANTIDADE DE VIATURAS | VIATURAS EMPENHADAS | COMBUSTÍVEL GASTO | VALOR R$ | VALOR TOTAL R$ |
|---|---|---|---|---|---|
| BEMAD | 6 | 42 | 375,7 | 3,499 | 1.314,58 |
| 1ºCOB/1ºBBM | 7 | 36 | 301,1 | 3,499 | 1.053,55 |
| CSM | 1 | 20 | 108 | 3,499 | 254,02 |
| 3ºCOB/4ºBBM/2ªCIA IND | 6 | 18 | 930 | 3,499 | 2.187,36 |
| ABM | 2 | 7 | 76 | 3,499 | 178,76 |
| 5ºCOB/6ºBBM/3ªCIA IND. | 27 | 66 | 729 | 3,499 | 1.714,61 |
| EMBM | 2 | 5 | 54 | 3,499 | 127,01 |
| **TOTAL** | **41** | **156** | **2.221** | | **6.829,89** |

Tabela 4.4 – Gastos com as aeronaves do CBMMG empenhadas na ocorrência (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)

| AERONAVES | QUANT. EMPENHOS | COMBUSTÍVEL GASTO (ℓ) | UNITÁRIO R$ | TOTAL R$ | HORA SEGURO | UNITÁRIO R$ | TOTAL R$ | VALOR TOTAL R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 28 | 13.385 | 4,091 | 54.758,04 | 177,9 | 953,25 | 169.583,18 | **224.341,21** |

Tabela 4.5 – Gastos com materiais danificados e de consumo na ocorrência (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)

| EQUIPAMENTOS/MATERIAIS PERMANENTES DANIFICADOS DO CBMMG | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| UNIDADE | EQUIPAMENTO | FORMA AQUISIÇÃO | QUANTIDADE | VALOR UNITÁRIO | TOTAL |
| 5ºCOB/3ªCIA IND | Reboque de barco | Unidade | 1 | R$ 3.500,00 | R$ 3.500,00 |
| | Motor de popa de 15Hp | Unidade | 1 | R$ 5.300,00 | R$ 5.300,00 |
| BEMAD | GPS | Unidade | 7 | R$ 700,00 | R$ 4.900,00 |
| | | | | **TOTAL** | **R$ 13.700,00** |
| MATERIAIS DE CONSUMO DO CBMMG | | | | | |
| UNIDADE | MATERIAL | FORMA DE AQUISIÇÃO | QUANTIDADE | VALOR UNITÁRIO | TOTAL |
| BEMAD | Anel de fita de 0,80 metros | Unidade | 30 | R$ 21,90 | R$ 657,00 |
| | Anel de fita de 1,20 metros | Unidade | 36 | R$ 30,90 | R$ 1.112,40 |
| | Bateria p/ desencarcerador elétrico - Holmatro | Unidade | 2 | R$ 7.270,00 | R$ 14.540,00 |
| | Fita tubular | Metro | 90 | R$ 9,57 | R$ 861,30 |
| | Mosquetão HMS de duralumínio | Unidade | 50 | R$ 76,29 | R$ 3.814,50 |
| | Cinto alpinismo (cadeirinha) | Unidade | 8 | R$ 139,90 | R$ 1.119,20 |
| | Corda semi-estática - 11 mm | Metro | 200 | R$ 12,51 | R$ 2.502,00 |
| | Corda semi-estática de nylon ou perlon | Metro | 350 | R$ 12,51 | R$ 4.378,50 |
| | Cordeletes de 8 mm | Metro | 200 | R$ 13,44 | R$ 2.688,00 |
| | Mangueira de incêndio de 15 | Unidade | 4 | R$ 815,29 | R$ 3.261,16 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | metros 2´1/2 polegadas | | | | |
| | Mangueira de incêndio de 15 metros 1´1/2 polegadas | Unidade | 8 | R$ 602,00 | R$ 4.816,00 |
| | Esguicho para incêndio de 1´1/2 polegadas | Unidade | 2 | R$ 2.285,71 | R$ 4.571,42 |
| | Pá de campanha | Unidade | 15 | R$ 42,70 | R$ 640,50 |
| | Saco de velame | Unidade | 4 | R$ 39,30 | R$ 157,20 |
| | Saco tipo VO confeccionado em lona | Unidade | 6 | R$ 100,00 | R$ 600,00 |
| | Roupão de neoprene | Unidade | 43 | R$ 667,86 | R$ 28.717,98 |
| | Jogo de chave confeccionado em lona | Unidade | 1 | R$ 150,00 | R$ 150,00 |
| | Luva de vaqueta | Par | 40 | R$ 17,08 | R$ 683,20 |
| 3ºCOB/4ºBBM | Pá de campanha | Unidade | 2 | R$ 42,70 | R$ 85,40 |
| | Roupão de neoprene | Unidade | 20 | R$ 667,86 | R$ 13.357,20 |
| | Corda semi-estática - 11 mm | Metro | 100 | R$ 12,51 | R$ 1.251,00 |
| | | | | **TOTAL** | **R$ 89.963,96** |

EPI DANIFICADOS

| UNIDADE | MATERIAL | FORMA AQUISIÇÃO | QUANTIDADE | VALOR UNITÁRIO | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| BEMAD | Boné alaranjado | Unidade | 74 | R$ 40,00 | R$ 2.960,00 |
| | Conjunto gandola/calça - alaranjado | Unidade | 114 | R$ 300,00 | R$ 34.200,00 |
| | Capacete de alpinismo Petlz Spelios - alaranjado | Unidade | 1 | R$ 919,90 | R$ 919,90 |
| | Luva de trabalho pesado anticorte - Riger Gloves | Unidade | 1 | R$ 350,00 | R$ 350,00 |
| | Lanterna de cabeça - Enerziger hard case | Unidade | 1 | R$ 146,64 | R$ 146,64 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Mochila de hidratação de 3 litros - Deuter | Unidade | 1 | R$ 84,60 | R$ 84,60 |
| | Mochila de hidratação de 10 litros - Deuter | Unidade | 1 | R$ 549,00 | R$ 549,00 |
| | GPS Oregon 450t | Unidade | 1 | R$ 1.199,00 | R$ 1.199,00 |
| | Lanterna de cabeça - Enerziger hard case | Unidade | 1 | R$ 146,64 | R$ 146,64 |
| | Luva de trabalho pesado anticorte - Riger Gloves | Unidade | 1 | R$ 350,00 | R$ 350,00 |
| | Mochila de hidratação | Unidade | 1 | R$ 84,60 | R$ 84,60 |
| | Lanterna de cabeça - Enerziger hard case | Unidade | 1 | R$ 146,64 | R$ 146,64 |
| | Pá de campanha articulada | Unidade | 1 | R$ 42,70 | R$ 42,70 |
| | Mochila de hidratação | Unidade | 1 | R$ 84,60 | R$ 84,60 |
| | Lanterna Survivor | Unidade | 1 | R$ 1.040,00 | R$ 1.040,00 |
| | Mochila de hidratação | Unidade | 1 | R$ 84,60 | R$ 84,60 |
| | Canivete tático Mormaii | Unidade | 1 | R$ 69,53 | R$ 69,53 |
| | Mochila de hidratação | Unidade | 1 | R$ 84,60 | R$ 84,60 |
| | Lanterna de cabeça - Enerziger case | Unidade | 1 | R$ 146,64 | R$ 146,64 |
| | Cinto tático | Unidade | 1 | R$ 45,00 | R$ 45,00 |
| | Bermuda térmica - vermelha | Unidade | 40 | R$ 60,00 | R$ 2.400,00 |
| | Camiseta de lycra manga longa antitérmica - vermelha | Unidade | 40 | R$ 120,00 | R$ 4.800,00 |
| | | | | **TOTAL** | **R$ 49.934,69** |

| FARDAMENTO DANIFICADO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **UNIDADE** | MATERIAL | FORMA AQUISIÇÃO | QUANTIDADE | VALOR UNITÁRIO | TOTAL |
| BEMAD | Coturno | Par | 80 | R$ 497,00 | R$ 39.760,00 |
| | Camiseta vermelha | Unidade | 80 | R$ 25,00 | R$ 2.000,00 |
| | | | | **TOTAL** | **R$ 41.760,00** |
| | | | | **TOTAL GERAL** | **R$ 195.358,65** |

Tabela 4.6– Resumo geral dos custos da operação (Fonte: 4ª seção do Estado Maior do CBMMG)

| RESUMO DOS LEVANTAMENTOS ENTRE OS DIAS 05 A 23/12/2015 | |
|---|---|
| EFETIVO UTILIZANDO | 740 |
| QUANTIDADE DE EMPENHOS DO EFETIVO | 1785 |
| AERONAVES UTILIZADAS | 2 |
| EMPENHOS DA AERONAVE | 28 |
| VIATURAS UTILIZADAS | 41 |
| QUANTIDADE DE EMPENHOS DAS VIATURAS | 156 |
| | |
| VENCIMENTO (MÉDIA SALARIAL) R$ | 6.455.527,97 |
| DIÁRIAS PAGAS R$ | 359.562,26 |
| EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DANIFICADOS R$ | 195.358,65 |
| COMBUSTÍVEL E SEGURO DE AERONAVE | 224.341,21 |
| COMBUSTÍVEL VIATURAS | 6.829,89 |
| **TOTAL GERAL (R$)** | **7.241.619,98** |

# CAPÍTULO 5

## PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GEOLOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS SOTERRADAS

### 5.1 INTRODUÇÃO

Os estudos de casos descritos nos capítulos anteriores ilustram, entre dezenas de outros eventos de mesma natureza, as enormes dificuldades técnicas e operacionais de busca e salvamento de pessoas soterradas sob massas de solos e/rochas mobilizadas em grande extensão. Neste sentido, há que se viabilizar, da forma mais simples e rápida possível, um sistema de geolocalização de pessoas para atividades operacionais em áreas de risco geotécnico associados a movimentos de massa como, por exemplo, em empreendimentos de mineração. Este consiste essencialmente o foco principal desta dissertação.

A rigor, existem atualmente diversos processos tecnológicos que permitem estabelecer a localização de um objeto ou de uma pessoa em qualquer lugar do mundo, com grande precisão. A tecnologia do *Global Position System*, sistema de localização global ou GPS, desenvolvido pioneiramente para tecnologia militar, permite a localização de um dispositivo móvel equipado com receptor adequado com uma aproximação da ordem de 4 a 10 metros. Com o avanço de satélites em órbita cada vez maior, esta margem de erro tem sido reduzida a distâncias de 1 ou 2 metros em relação a um dado posicionamento real (Trimble, 2007).

Quando se fala nos aparelhos GPS, na verdade está fazendo-se referência aos receptores propriamente ditos, que constituem os dispositivos coletores dos dados enviados pelos satélites, transformando-os em grandezas tais como coordenadas, distâncias, tempos, deslocamentos e velocidades. Além da propriedade de captar os dados dos satélites, os receptores permitem várias outras operações como armazenar dados, interagir dados entre receptores diferentes e exportar estes dados por meio de tecnologias diversas como, por exemplo, plotar coordenadas num mapa de localização.

O sistema está tão presente na realidade do nosso cotidiano que uma simples e rápida pesquisa na internet permite acessar serviços disponibilizados ao público em geral, baseados na tecnologia GPS, para a localização de crianças, idosos, animais, bicicletas e vários outros serviços similares. Assim, a opção natural da presente proposta foi a de se utilizar essa tecnologia, fartamente disponível e acessível, como base do sistema de geolocalização de pessoas inseridas em áreas de elevado risco geotécnico.

## 5.2 USO DE LOCALIZADORES ESPECÍFICOS PARA RESGATE DE PESSOAS SOTERRADAS

Os localizadores atualmente disponíveis não são específicos para serviços de busca e salvamento de pessoas soterradas, apresentando nuances e características diferenciadas em relação aos objetivos propostos pelo fabricante. No Capítulo 3, foram mostradas as principais ferramentas utilizadas para busca de pessoas desaparecidas principalmente em terremotos e descritas a natureza e a eficiência de cada uma delas.

Estes dispositivos são particularmente indicados para fins específicos tais como os de localização de animais, carros, chaves, carteiras, objetos diversos, pessoas com necessidades especiais, pessoas idosas, etc, em condições bastante convencionais em núcleos urbanos, sem atuação em ambientes hostis ou adversas. Nas abordagens dos acidentes estudados, enfatizou-se a enorme dificuldade de se delimitar uma área de busca central para propiciar a redução dos tempos de busca e, assim, permitir um significativo acréscimo do potencial e salvamento de pessoas vitimadas em eventos decorrentes dos chamados movimentos de massa.

Dentre os sistemas investigados e comercialmente disponíveis , o mais próximo das necessidades buscadas neste trabalho é o sistema denominado RECCO. O sistema foi desenvolvimento especialmente para a busca e salvamento de pessoas acidentadas em avalanches de neve, em função de um trágico acidente ocorrido em Åre, na Suécia em 1973. O primeiro protótipo comercial somente foi desenvolvido dez anos depois, enquanto equipamentos portáteis e de fácil transporte somente ficaram disponíveis comercialmente no início dos anos 90. Hoje constitui equipamento de uso corrente em estâncias de esqui em todo o mundo.

O sistema funciona com a tecnologia do radar e consiste em duas partes: o radar detector, constituído por um aparelho móvel de transmissão de ondas que é transportado pelas equipes de resgate e os refletores passivos, que não emitem nenhum sinal e são fixados à roupa da pessoa. O refletor consiste em um *transponder* eletrônico, constituído por um diodo e uma delgada antena de cobre, fixado na roupa (ou no capacete ou botas) por uma resina especial. Por não emitir sinal de qualquer natureza, o refletor não demanda uma fonte de energia.

Figura 5.1 – Refletores fixados às roupas (fonte: www.recco.com)

O detector emite uma onda de radar direcional; ao encontrar o refletor, a frequência é amplificada pelo diodo e retorna à fonte de detecção. Por meio de um sistema sonoro, o aparelho que envia os sinais começa a apitar, com maior ou menor frequência, dependendo da distância que as equipes de resgate estão da pessoa a ser localizada.

Figura 5.2 – Sistema de localização pelo sistema Recco (fonte: www.recco.com)

As ondas podem ser transmitidas através do ar, da neve seca e do gelo, atingindo distâncias de até 300m na atmosfera e profundidades de até 30m em busca direcional, conduzindo, assim, diretamente o operador em direção à vítima (www.recco.com). Uma limitação importante da metodologia é a absorção dos sinais em grande escala pela água líquida, tornando difíceis as operações de busca no caso de camadas de neve com elevada umidade. Esta restrição é crítica no caso de movimentos de massa, comumente desencadeados sob condições de precipitações intensas.

Uma proposição básica, portanto, seria estabelecer mecanismos similares para busca de pessoas soterradas, levando-se em conta as potencialidades inerentes ao sistema descrito e as especificidades deste tipo de evento. Evidentemente, há que se considerar os custos inerentes a uma inserção de um dispositivo dessa natureza como equipamento básico de proteção de todas as pessoas envolvidas nas áreas de risco de escorregamentos de solo e/ou rocha.

A inserção de um sistema de geolocalização por GPS poderia eliminar uma vasta área, uma vez que que as equipes de resgate começariam os trabalhos de busca a partir da última sinalização emitida pelo aparelho que a vitima estivesse utilizando. Isto faria com que as equipes não desperdiçassem tempo em áreas onde a probabilidade de se encontrar alguém seria nula.

Neste contexto, os dois estudos de casos detalhados nos capítulos anteriores são referenciais: as operações durante 15 dias na Mineração Herculano comportaram um custo total da ordem de R$ 665.767,02, ao passo que os custos das operações realizadas na Samarco Mineração durante 52 dias mobilizaram investimentos da ordem de 7,2 milhões de reais.

## 5.3 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E SUA NORMALIZAÇÃO NA ATIVIDADE MINERADORA

A definição legal de acidente do trabalho, definido pela lei 8.213, de 24 de julho de 1991, Lei Básica da Previdência Social (BRASIL, 1991), determina, em seu capítulo II, Seção I, artigo 19, que:

> ‘Acidente de trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do artigo 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda, ou ainda a redução, permanente ou temporária da capacidade para o trabalho’.

Ainda segundo a lei, é considerado também acidente do trabalho aquele que ocorre no exercício do trabalho a serviço da empresa, de acordo com as seguintes circunstâncias (DE CICCO, 1982):

> Doenças profissionais ou do trabalho: aquelas que são adquiridas em determinados ramos de atividade e que são resultantes das condições especiais em que o trabalho é realizado;
>
> Qualquer tipo de lesão, quando ocorre no local e no horário de trabalho e quando a caminho ou na volta do trabalho; fora dos limites da empresa e fora do horário de trabalho; fora do local da empresa, mas em função do trabalho.

Desta forma, é possível verificar que o conceito de acidente é muito amplo e não é limitado apenas ao local de trabalho, mas também abrangendo o trajeto e os potenciais eventos ocorridos em função das atividades do trabalho em si. Os trabalhadores são as vítimas pessoais mais transparentes dos acidentes do trabalho. Esses acidentes são identificados visualmente por um simples curativo numa ferida, pelo engessamento de uma parte do corpo ou por outras evidências incontestáveis (ZOCCHIO, 2001).

Equipamento de proteção individual (EPI), segundo a norma regulamentadora 6 (NR -6) (BRASIL, 1978), é todo equipamento de uso individual, de fabricação nacional ou estrangeira, que visa proteger a saúde e a integridade física do trabalhador. Para Ramos (2009), esses EPI’s são destinados a proteger a integridade física e preservar a saúde do trabalhados. Os EPI’s formam, em conjunto, um recurso amplamente utilizado para a segurança do trabalhador no exercício de suas funções que assumem, por essa razão, papel de grande responsabilidade para a preservação do trabalhador contra os mais variados riscos aos quais está sujeito nos ambientes de trabalho (Franz, 2006; Ramos, 2009; Nascimento *et al*., 2009).

Segundo a Lei Federal no 3214/78 (BRASIL, 1978), com última alteração pela portaria nº 292 de 2011 (BRASIL, 2011), o EPI é ‘é todo dispositivo ou produto, de uso individual, utilizado pelo trabalhador destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho’. Uma vez que a mineração constitui uma área de riscos potenciais, Dobrovolski *et al.* (2008) destacam que o uso dos EPI’s é uma das formas previstas em lei para prevenir as lesões provocadas pelos acidentes de trabalho, constituindo, assim, todos os instrumentos de uso pessoal fornecidos pelos empregadores aos seus trabalhadores que fornecem segurança e saúde ao trabalhador, pois apresentam como objetivo diminuir e evitar lesões em casos de acidentes ou exposição dos trabalhadores a riscos.

O uso do EPI foi legalmente consolidado pelas Leis do Trabalho em 1943, por meio do Decreto nº 5.452 (BRASIL, 1943) que determina, no artigo 160 que, em todas as atividades exigidas, o empregador deve fornecer o EPI necessário, com a obrigação de fiscalizar o uso por parte de seus empregados e de promover ações que conscientizem os seus trabalhadores da importância do uso destes dispositivos de segurança no ambiente de trabalho.

A norma brasileira define o conjunto de dispositivos de proteção a serem utilizados, indicando a utilização de um equipamento específico para as diferentes partes do corpo. Assim, por exemplo, em relação aos dispositivos para proteção da cabeça, a norma (BRASIL, 1978) inclui a seguinte listagem geral:

> a) protetores faciais destinados à proteção dos olhos e da face contra lesões ocasionadas por partículas, respingos, vapores de produtos químicos e radiações luminosas intensas;
>
> b) óculos de segurança para trabalhos que possam causar ferimentos nos olhos, provenientes de impacto de partículas;
>
> c) óculos de segurança, contra respingos, para trabalhos que possam causar irritação nos olhos e outras lesões decorrentes da ação de líquidos agressivos e metais em fusão;
>
> d) óculos de segurança para trabalhos que possam causar irritação nos olhos, provenientes de poeiras;
>
> e) óculos de segurança para trabalhos que possam causar irritação nos olhos e outras lesões decorrentes da ação de radiações perigosas;

> f) máscaras para soldadores nos trabalhos de soldagem e corte ao arco elétrico;
>
> g) capacetes de segurança para proteção do crânio nos trabalhos sujeitos a:
>
> 1. agentes meteorológicos (trabalhos a céu aberto);
> 2. impactos provenientes de quedas, projeção de objetos ou outros;
> 3. queimaduras ou choque elétrico.

Conforme exposto previamente, a norma NR 0 especifica os equipamentos a serem utilizados para as diferentes partes do corpo, mas trata também do conjunto de dispositivos a serem utilizados frente aos potenciais riscos de uma determinada atividade ou serviço. Assim, no caso de proteção individual contra quedas por diferenças de nível, a norma recomenda explicitamente a utilização combinada do seguinte conjunto de equipamentos:

> a) cinto de segurança para trabalho em altura superior a 2,0 (dois) metros em que haja risco de queda;
> b) cadeira suspensa para trabalho em alturas em que haja necessidade de deslocamento vertical, quando a natureza do trabalho assim o indicar;
> c) trava-queda de segurança acoplada ao cinto de segurança ligado a um cabo de segurança independente, para os trabalhos realizados com movimentação vertical em andaimes suspensos de qualquer tipo.

Os equipamentos de proteção propostos na legislação conferem uma proteção mecânica e de diminuição de lesões, mas não diminuem ou minimizam a exposição ao risco. Diminuir a exposição ao risco é um fator que deve ser avaliado e estudado a fim de evitar os acidentes, pois a redução da vulnerabilidade do trabalhador é uma das premissas básicas da redução do risco.

## 5.4 MODELO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA, MONITORAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE PESSOAS SOTERRADAS (SISTEMA SML)

Nos capítulos anteriores, dois estudos de casos mostraram, de forma bastante ilustrativa, que o elemento de maior dificuldade envolvido nas operações de busca e salvamento é a rápida e efetiva localização das vítimas. Saber o local exato de uma pessoa soterrada no momento de um acidente interfere diretamente no tempo de resposta no socorro às vítimas

e na chance de sobrevida da pessoa atingida. No estudo de caso do acidente na mineradora Samarco, por exemplo, uma senhora foi retirada com vida durante o evento de fluxo de lama do rompimento da barragem, mas o salvamento dela ocorreu com base num avistamento por puro acaso e não por meio de técnicas planejadas de monitoramento.

Considerando que os EPI´s são equipamentos que visam evitar ou minimizar os efeitos de um acidente, o constante monitoramento de pessoas que trabalham em áreas de risco geotécnico poderia se tornar um fator de extrema relevância para a atuação mais efetiva das equipes de busca e salvamento.

O tempo dedicado nestas operações depende especialmente da maior ou menor percepção de localização de possíveis vítimas, e este tempo significa encontrar uma pessoa com vida ou não. Além do valor inestimável de uma vida, a localização rápida de pessoa ou corpos diminui significativamente os gastos que a empresa tem em relação à manutenção de toda uma estrutura emergencial de atendimento a um evento não previsto que pode impactar seriamente na estrutura organizacional de uma instituição.

Em termos específicos, os eventos geotécnicos das recentes rupturas de barragens de contenção de rejeitos ocorridos em Minas Gerais, permitiram ao corpo técnico do CBMMG estabelecer padrões tanto de tempos como de custos globais envolvidos em operações reais e em grande escala de busca e salvamento de pessoas soterradas, considerando aspectos e estratégias de análise ainda inéditos no país, em termos da quantificação dos impactos de eventos desta natureza. Com isso, tornou-se viável estabelecer uma referência de base, uma especificação limite e, com isso, propor soluções e metodologias mais realistas e mais representativas de atuação e resgate de vítimas e dos riscos geotécnicos associados a movimentos de massa de grande porte.

As premissas de um sistema deste tipo devem atender basicamente os seguintes propósitos:

(i) permitir um monitoramento em tempo real das pessoas localizadas em potenciais áreas de risco;

(ii) permitir a rápida localização de pessoas no espectro de grandes extensões: no caso da ruptura da Samarco Mineração, alguns corpos foram encontrados cerca de 150 km do local de origem do evento; coberturas limitadas às áreas imediatas ao foco de movimentos de massa seriam, nesse caso, impróprias e inconclusivas;

(iii) utilizar como base de apoio do monitoramento um conhecimento prévio dos processos envolvidos no fluxo de detritos e lama ao longo de grandes extensões;

(iv) o dispositivo de referência do monitoramento deve constituir um EPI e garantir a sua preservação no corpo da vítima, mesmo no caso do mesmo ser submetidos a grandes movimentações ou deslocamentos.

(v) a tecnologia básica do sistema de monitoramento por GPS ou GPRS é potencialmente atrativa, por permitir um monitoramento contínuo e sistemático de corpos e /ou objetos inseridos num processo de dinâmica de fluxo de detritos e lama.

Por outro lado, o estado dos corpos das vítimas dos acidentes citados indicou sempre um padrão geral: todas as vítimas encontravam-se sem roupas e sem nenhum dos dispositivos de proteção que trajavam no momento do acidente quando os detritos movimentados eram tipicamente uma lama; na medida em que os rejeitos tendiam a ser mais espessados (com menor fração líquida), os corpos eram bem mais preservados, incluindo roupas e outros acessórios de maneira geral. O caso mais emblemático foi o resgate de um corpo de um dos trabalhadores acidentados na Samarco (portanto, submetido a um fluxo de lama de grandes proporções), bastante deformado, mas que trazia incólume uma miçanga amarrada a um dos seus tornozelos.

Neste contexto, parece bastante óbvio que tal dispositivo não poderia ser fixado às roupas ou às botas ou capacete do trabalhador, como no caso do sistema Recco, mas na forma de um acessório estritamente ligado ao corpo, como um relógio ou preferencialmente uma tornozeleira.

Por outro lado, nenhum dispositivo eletrônico seria viável pois seria facilmente danificado em presença de fluxos concentrados de água ou lama e, mesmo que tivessem

uma elevada resistência a danos desta natureza, a perda do sinal apenas refletiria a condição da vítima num ponto específico de sua trajetória de deslocamento e não propriamente a sua localização final. Neste sentido, a tecnologia GPS ou GPRS não atenderia os pressupostos de um sistema confiável de monitoramento em eventos de movimentos de massa. A solução natural, portanto, seria imaginar um dispositivo capaz de integrar sinais sem componentes elétricos ou eletrônicos, e sistemas baseados na emissão de rádio-frequência atenderia essa condição, pois os sinais prescindem destes elementos físicos, sem interferência de água, lama ou materiais mais densos.

## 5.5 CUSTOS E VIABILIDADE DA PROPOSTA DO SISTEMA SML

Em se tratando de uma proposta de caráter social extremamente relevante, evitou-se associar à mesma a uma dada concepção comercial, para se evitar a implantação da tecnologia a uma dada e pré-determinada empresa.

Considerando a possibilidade de monitoramento via sistema GPS ou de natureza similar, a implantação do dispositivo tenderia a ser praticamente imediata, pois já se encontram disponíveis no mercado equipamentos que permitem o uso dessa tecnologia em técnicas de resgate de diversas naturezas. É possível adquirir produtos deste tipo em *sites* especializados na *internet*, com custos muito reduzidos, algo como R$ 70,00 ou R$ 80,00 como, por exemplo, o modelo ilustrado na Figura 5.3, sem utilização de qualquer técnica ou *software* especial.

Figura 5.3 – Sistema de localização de pessoas pelo sistema GPS (fonte: mercadolivre.com.br, acesso jan 2017)

O sistema de tornozeleiras eletrônicas inclusive é bastante conhecido, principalmente a partir da recente repercussão de sua utilização em larga escala para o rastreamento e monitoramento de pessoas que devem permanecer confinadas em áreas restritas. Este tipo de equipamento apresenta características que poderiam ser aproveitadas para os fins deste projeto, uma vez que são dispositivos à prova d'água e bastante resistentes ao uso intensivo, a pancadas e a impactos. A Figura 5.4 ilustra de maneira geral os procedimentos de utilização destes dispositivos para os fins mencionados.

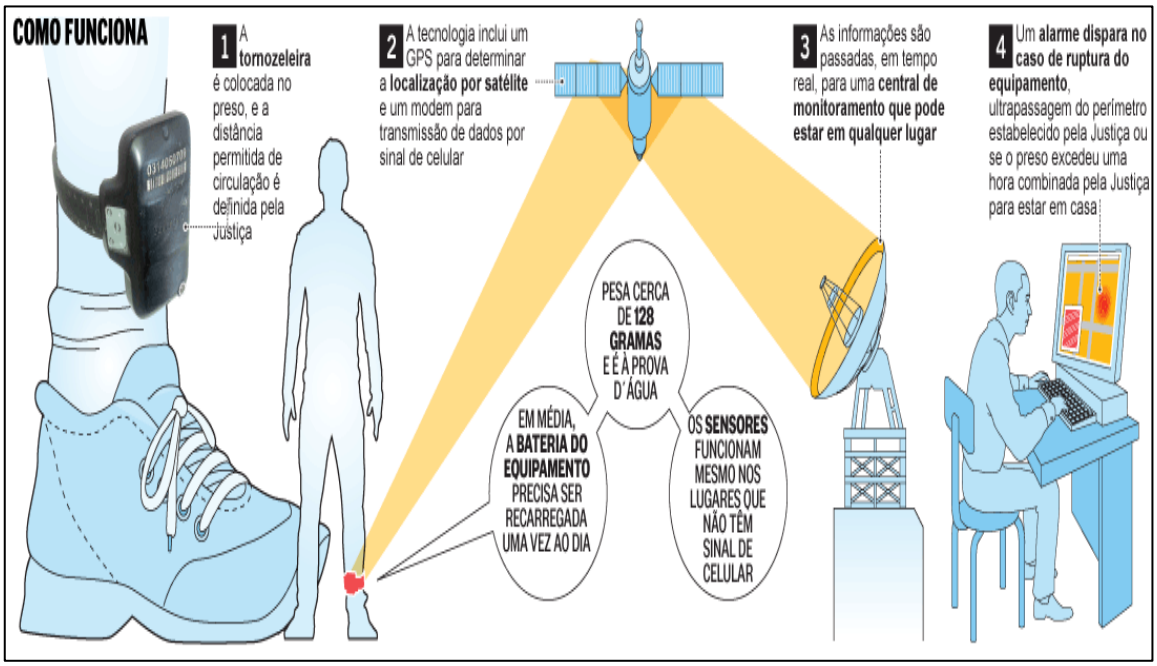



Figura 5.4 – Sistema de localização de pessoas pela tornozeleira eletrônica (fonte: oglobo.com.br, jan 2017)

Em geral, entretanto, o custo destes equipamentos não é facilmente disponível por incluir tecnologias de monitoramento acopladas e pela natureza do fornecimento por meio de processos de licitação estadual ou federal. Entretanto, de acordo com o departamento de administração prisional de Santa Catarina, em pesquisas realizadas no estado em 2013, o custo do equipamento, incluindo o monitoramento, variou entre 600 a 700 reais por mês. Em reportagem do jornal 'O Globo' de julho de 2016, estimou-se o custo para o estado do Rio de Janeiro para cada tornozeleira eletrônica como sendo da ordem de 300 reais, uma vez que o número de presos utilizando o sistema é muito maior, contribuindo, assim, para a minimização dos custos globais.

Mesmo considerando a implantação do sistema com tecnologia de radar, o qual tem a

grande vantagem de não possuir nenhum componente eletrônico em sua composição e, por isso, não apresenta a possibilidade de interferências ou danos pela ação da água, lama ou outro detrito, já existem alguns dispositivos muito simples comercialmente disponíveis no mercado, sob a forma de pulseiras de silicone, resistentes à água e sem utilização de baterias externas ou internas, com custos ínfimos e da ordem de R$10 a unidade para identificação de pacientes em hospitais por exemplo.

São dispositivos com alcance limitado (até 20m), muito efetivos na localização de crianças ou pessoas em ambientes de grande concentração de pessoas, como *shows*, praias e clubes. Embora constituam tão somente modelos provisórios para as proposições temáticas deste trabalho, certamente seriam opções preliminares muito interessantes.

Em princípio, numa escala de aplicação imediata dada a realidade das técnicas operacionais existentes de pessoas soterradas, propõe-se um sistema híbrido de localização, utilizando, de forma integrada, dispositivos comercialmente disponíveis nos sistemas GPS e por radar.

Tomando-se como referência o estudo de caso da ruptura da barragem de contenção e rejeitos da empresa Herculano, resulta um custo global aproximado de R$ 280.000,00 (somatório da pulseira de silicone mais tornozeleira eletrônica) para um domínio de 400 pessoas (efetivo de toda a empresa, incluindo terceirizados na zona de ruptura e nos demais setores da empresa, à época do acidente), considerando o preço da tornozeleira eletrônica como sendo de 700 reais a unidade. Incluindo-se os custos médios de monitoramento de automóveis (da ordem de R$ 30,00 por mês, por veículo ), ter-se-ia um custo adicional para o efetivo daquela empresa da ordem de R$ 12.000,00 mensais.

Considerando tão somente os gastos envolvidos com as operações do CBMMG, sem considerar quaisquer outros custos ou indenizações, estes valores teriam sido suficientes para monitorar todos os trabalhadores da empresa por um período aproximado de 5 anos. Considere-se o impacto desta relação custo-benefício se levarmos em conta que apenas 12 trabalhadores estavam diretamente inseridos na área da barragem da empresa, à época do acidente.

No caso da Samarco Mineração, não foi possível precisar o número total de funcionários da empresa à época do acidente, por envolver muitas empresas terceirizadas. Somente os custos associados às operações do CBMMG na área seriam suficientes para adquirir mais de 10 mil tornozeleiras eletrônicas de monitoramento. Considerando o número de 50 potenciais desaparecidos nas primeiras horas após o acidente, os custos associados a este tipo de monitoramento seriam da ordem de R$ 35.000,00, valor irrisório diante a magnitude do evento e da mobilização das equipes de busca e salvamento.

Há que considerar ainda os elevados custos de identificação das pessoas vitimadas pelas técnicas avançadas de DNA, que não foram incluídas nestas avaliações gerais, que seriam descartáveis a partir da possibilidade de uma imediata identificação das pessoas pelas numerações específicas de suas tornozeleiras eletrônicas.

# CAPÍTULO 6

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS COMPLEMENTARES

### 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os últimos eventos de rupturas de barragens em Minas Gerais vitimaram 22 pessoas sendo que, no caso da Samarco Mineração, uma pessoa está declarada morta por decisão judicial sendo que, na prática, encontra-se no *status* de pessoas desaparecidas, uma vez que o corpo nunca foi localizado.

O Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais foi a instituição responsável por realizar as operações de busca e de salvamento das vítimas, bem como gerenciar todo evento enquanto estivesse na fase de emergência. A realização das buscas evidenciou, em primeiro lugar, as enormes dificuldades de se tratar com a natureza e a magnitude de um evento relacionado à ruptura de uma barragem de contenção de rejeitos de grande porte. Em segundo lugar, estas operações praticamente paralisam o desencadeamento de trabalhos seguintes, por envolver o resgate de vidas humanas e, uma vez moroso o processo, as repercussões e os impactos decorrentes tendem a ser bastante significativos em todas as ações subsequentes.

Por se tratar de um evento de movimento de massa de grandes dimensões, a extensão e as peculiaridades da dinâmica do fluxo tornam de uma complexidade intransponível a exata localização dos corpos, que passa a ser regida por processos meramente indutivos, sem quaisquer apoios de sistemas de prevenção e de segurança específicos. Assim, é razoável supor que os corpos das vítimas possam estar localizados em zonas confinadas do fluxo (por exemplo, em um reservatório de uma barragem a jusante) ou em zonas de remanso e de contrafluxo (fluxo secundário em relação ao fluxo principal). Que tais hipóteses se mostrem bastante realistas é fato notório, pela maciça recuperação dos corpos vitimados nos acidentes descritos, mas implica em áreas de busca e tempos de resgate extremamente elevados e onerosos.

O conhecimento e a experiência obtidos nestes eventos das rupturas ocorridas nas

minerações Samarco e Herculano constituem um grande acervo de dados e realidades muito pouco estudadas no Brasil, pois de acesso restrito e intimamente associadas a equipes diretamente ligadas à escala de superação direta de gerenciamento de grandes calamidades e acidentes naturais. A questão crucial a ser investigada, portanto, é 'como acelerar o processo de localização de pessoas soterradas em acidentes envolvendo movimentos de massa de grande porte'?

Num contexto de viabilidade de uma alternativa de curto prazo, o presente trabalho propõe a implantação de um modelo híbrido, que associa as vantagens da metodologia GPS com a eficiência do monitoramento pela tecnologia de radar, que tem maior resistência contra da ação da água ou da lama de rejeitos finos. Além da sua aplicabilidade imediata, os custos elevadíssimos das operações de busca e salvamento retratados nos dois estudos de caso avaliados, ratificam plenamente a viabilidade econômica imediata da proposta, com impactos sociais de extrema relevância para os trabalhadores que atuam em áreas de risco geotécnico propensas a movimentos de massa de grande porte.

## 6.2 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho podem ser sistematizadas no seguinte conjunto de observações:

- O CBBMG (e corpos de bombeiros de outros estados brasileiros) não podem restringir suas operações de busca e salvamento de pessoas soterradas com base apenas em técnicas empíricas ou especulativas;
- Em princípio, numa escala de aplicação imediata dada a realidade das técnicas operacionais existentes de pessoas soterradas, concluiu-se pela utilização de um sistema híbrido de localização, utilizando, de forma integrada, dispositivos comercialmente disponíveis nos sistemas GPS e por tecnologia de radar.
- O sistema combinado permitiria uma otimização dos métodos de busca e salvamento de pessoas soterradas, por estar vinculado diretamente a um sistema de monitoramento contínuo e integral de pessoas situadas em áreas de grande risco geotécnico, por meio de EPI's acessórios;

- O sistema possibilita o monitoramento em tempo real das pessoas presentes nas áreas de risco e também das equipes de buscas submetidas ao risco potencial de réplicas do evento principal;
- O sistema permite a detecção imediata do número de pessoas desaparecidas já no momento do acidente e a identificação destas pessoas;
- O ganho social com a implementação deste sistema é inestimável, considerando a rapidez de conclusão da operação bem como a possibilidade de resgate de pessoas ainda com vida;
- Impõe-se a necessidade imediata de inclusão dos equipamentos receptores como equipamento de proteção individual de trabalhadores inseridos em áreas de elevado risco geotécnico;
- A proposta é de extrema relevância social na logística de operação das empresas de mineração, em que a ruptura de grandes estruturas de estocagem de rejeitos representa efetiva ameaça à estabilidade funcional, econômica e social dos empreendimentos de mineração;
- A viabilidade econômica da proposta é efetiva e conclusiva, corroborada pelas correlações dos custos de sua implantação com os custos demandados nas operações de busca e salvamento de pessoas soterradas em dois grandes eventos de rupturas de barragens de contenção de rejeitos no estado de Minas Gerais, mesmo que levando-se em conta os custos dos trabalhos efetuados apenas pelo CBMMG (sem incluir custos das equipes técnicas da Policia Civil, Policia Militar, Polícia Federal, IEF, SEMAD e IBAMA por exemplo).

## 6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS COMPLEMENTARES

Como sugestão para trabalhos ou pesquisas complementares, são feitas as seguintes recomendações:

- Alterar a norma brasileira NR06, de forma a incluir os equipamentos de geolocalização de pessoas em áreas de risco associadas a movimentos de massa, no conjunto dos dispositivos dos EPI’s obrigatórios;
- Aferir a quantificação econômica da proposta anterior com base em simulações de potenciais acidentes de grande porte;

- Realizar simulações de campo em escala real para aferir a viabilidade e eficiência da tecnologia de busca e salvamento de pessoas soterradas apresentada neste trabalho;
- Realizar estudos da dinâmica de fluxo de detritos direcionados à localização de pessoas soterradas, de forma a otimizar as operações de busca e salvamento;
- Treinar o CBMMG (e equipes técnicas do corpo de bombeiros de outros estados brasileiros) a aplicar a metodologia exposta neste trabalho para eventos de movimento de massa em escala real.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003.v3, 1436 p.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, de 5 de outubro de 1988. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>.Acesso em: 09 mar 2017.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em 09 mar 2017.

BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. Lei Básica da Previdência Social Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8213cons.htm>. Acesso em: 09 mar 2017.

BRASIL. Portaria da Secretaria de Inspeção do Trabalho – SIT nº 292, de 08 de dezembro de 2011. Altera o Anexo I (Lista de Equipamentos de Proteção Individual) da Norma Regulamentadora nº 06 (Equipamento de Proteção Individual). Disponível em: < http://www.normaslegais.com.br/legislacao/portaria-sit-292-2011.htm>. Acesso em 09 mar 2017.

BRASIL. Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. Aprova a consolidação das leis do trabalho. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm>. Acesso em 09 mar 2017.

BRASIL. Lei nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho. Disponível em: < http://www.camara.gov.br/sileg/integras/839945.pdf>. Acesso em 09 mar 2017.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012 / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2012. 84 p. 1. Desastres naturais. 2. Levantamento de dados. I. Ministério da Integração Nacional. II. Secretaria Nacional de Defesa Civil. III. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. IV. Título.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Banco de dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres - S2ID. 2013. Disponível em: <http://s2id.integracao.gov.br/>. Acesso em: 14 mar. 2017.

CASTRO, J. M.G. (2006). Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**.** 2006. 138 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG.

CHRISTOFFERSSON, N. Urban Search and Rescue -An evaluation of technical search equipment and methods (2006). Disponível em:<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=1688941&fileOId=1765885>. Acesso em 09 mar 2017.

CORTELETTI, R. C. (2014). Proposta de uma Metodologia para Análise de Riscos Geológico-Geotécnicos em Ferrovias. Estudo de Caso: Estrada de Ferro Carajás. Tese de Doutorado, Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG.

DE CICCO, F.M.G.A.F. Segurança, higiene e medicina do trabalho na construção civil – nível superior. São Paulo: FUNDACENTRO, 1982, 216 p.

DOBROVOLSKI, M.; WITKOWSKI, V.; ATAMANCZUK, M. J. Segurança no trabalho: uso do EPI. 4º encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais – AEAPG. Ponta Grossa, 2008. Disponível em: < http://www.4eetcg.uepg.br/oral/56_2.pdf>. Acesso em: 09 mar 2017.

FERNANDES, N.F.,AMARAL, C.P. Movimentos de Massa: Uma abordagem geológicogeomorfológica. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (org). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2000.

FRANZ, L. (2006). Estudo comparativo dos custos de prevenção e os custos dos acidentes de trabalho na construção civil. Monografia Bacharel em Ciências Contábeis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

MINAS GERAIS. Lei Delegada n. 54. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais e dar outras providências. Disponível em:< K:\lei complementar 54 13dez99 organização básica cbmg.mht>. Acesso em: 09 mar 2017.

MINAS GERAIS. Constituição do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/opencms/export/sites/ default/consulte/legislacao/Downloads/pdfs/constituicao_estadual_multivigente.pdf>. Acesso em: 09 mar 2017.

MORGENSTERN, N.R.; VICK, S.G; VIOTTI, C.B.; WATTS, B.D. (2016). Relatório sobre as causas imediatas da ruptura da barragem de Fundão. Disponível em: <http://fundaoinvestigation.com/wpcontent/uploads/general/PR/pt/FinalReport.pdf.>. Acesso em 09 mar 2017.

NASCIMENTO, A.M.A.; ROCHA, C.G.; SILVA, M. E.; SILVA, R.; CARABETE, R.W. (2009). A Importância do Uso de Equipamentos de Proteção na Construção Civil. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso Técnico de Segurança do Trabalho, Escola Técnica Estadual Martin Luther King, São Paulo – SP.

POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS. Manual de Atividade de Bombeiros. Belo Horizonte: Academia de Polícia Militar,1985.

PARIZZI, M.G.; SEBASTIÃO, C.S.; VIANA, C.S.; PFLUEGER, M.C.; CAMPOS, L.C.; CAJAZEIRO, J.M.D.; TOMICH, R.S.; GUIMARÃES, R.N.; ABREU, M.L. SOBREIRA, F.G.; REIS, R. (2010). Correlações entre chuvas e movimento de massas no município de Belo Horizonte, MG. Geografias**,** 6 (2), 49-68.

RAMOS, P. (2009). Análise do Programa de Prevenção de Acidentes – Quase Acidente – e a Viabilidade da Aplicação Direta na Construção Civil – Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2012, 196 p.

TRIMBLE. The First Global Navigation Satellite System. Disponível em: < http://www.saveourgps.org/pdf/GPS-The-First-Global-Satellite-Navigation-System-by-Trimble.pdf> Acesso em 09 mar. 2017.

ZOCCHIO, A. Segurança e saúde no trabalho: como entender e cumprir as obrigações pertinentes. São Paulo: LTR, 2001, 112 p.