



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRO - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE
QUARTZITO EM VÁRZEA – PB**

MESTRANDA: ÉLIDA MEDEIROS DO NASCIMENTO

ORIENTADOR: Prof. Dr. RUI DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE

2015

ÉLIDA MEDEIROS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE
QUARTZITO EM VÁRZEA – PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestra.

ORIENTADOR: Prof. Dr. RUI DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE

2015

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

N244a Nascimento, Élide Medeiros do
Avaliação de risco da exploração e beneficiamento de
quartzito em Várzea – PB [manuscrito] / Élide Medeiros do
Nascimento. - 2015.
102 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia Ambiental) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2015.
"Orientação: Prof. Drº. Rui de Oliveira, Departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Exploração de quartzito. 2. Avaliação de risco. 3.
Metodologia FMEA. 4. Árvore de falhas. I. Título.

21. ed. CDD 622.8

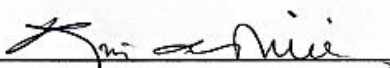
ÉLIDA MEDEIROS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE
QUARTZITO EM VÁRZEA – PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestra.

Aprovada em 28 de agosto de 2015

BANCA EXAMINADORA



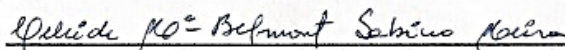
Prof. Dr. Rui de Oliveira

(Orientador – Universidade Estadual da Paraíba)



Profa. Dra. Monica de Amorim Coura

(Examinadora Externa – Universidade Federal de Campina Grande)



Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

(Examinadora Interna – Universidade Estadual da Paraíba)

Campina Grande

2015

Dedico a realização desse trabalho a todos os garimpeiros da Serra do Poção, Várzea (PB).

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu especialista em impossíveis, Aquele que me guia pelos melhores caminhos;

Ao meu pequeno, João Emanuel, fonte de inspiração e amor; a meu pai (*in memoriam*), Sebastião Manoel, pelos princípios e proteção;

À minha mãe, minha fortaleza, irmãos e amigos de Várzea (PB) pelo companheirismo e carinho;

Ao meu orientador pelos ensinamentos, paciência e por nunca desistir de mim e nem da minha pesquisa, por me apoiar em todas as etapas;

À Isabela Rocha e Redy Rocha, meus meninos de ouro, pela ajuda na construção desse trabalho, sem vocês nada disso seria possível;

Aos meus amigos do programa, Eyre, Rosa, Dayane, Edilma e Tiago;

Aos garimpeiros da Serra do Poção e os demais trabalhadores que disponibilizaram um pouco do seu tempo para responder meus questionamentos. Especialmente, a Anna Karla que realizou várias visitas comigo as empresas de beneficiamento de quartzito;

Por mais, a todos que contribuíram direta e indiretamente para a concretização desse trabalho, meu sincero, muito obrigada!

*“Sertão é onde o pensamento da gente se forma
mais forte do que o lugar. Viver é muito
perigoso...”*

(Guimarães Rosa)

RESUMO

O presente estudo busca identificar e analisar os perigos existentes na exploração de rochas ornamentais. Para alcance do objetivo proposto, realizou-se uma investigação no sistema produtivo (exploração, beneficiamento e comercialização) na região do município de Várzea (PB), um dos principais polos extratores e beneficiadores de quartzito do estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil. A exploração de quartzito é realizada por vários garimpeiros há mais de 40 anos e envolve mais de 900 trabalhadores, se configurando como a principal fonte de emprego e renda do Município. O estudo nos permitiu descrever o sistema produtivo (exploração, beneficiamento e comercialização), subdividi-lo em etapas, identificar e analisar, apenas na exploração, os principais perigos envolvidos em cada uma de suas etapas. Optou-se assim por uma pesquisa de caráter híbrido (quantitativo e qualitativo) com a aplicação de duas técnicas da avaliação de risco: a FMEA (análise de modo e efeito de falhas) e a FTA (análise de árvore de falhas). A FMEA gerou como resultados a definição dos riscos da exploração, sua classificação quanto à importância, como também identificou suas causas, consequências e propôs medidas que deverão ser adotadas para mitigá-los. A FTA foi utilizada para permitir a clara visualização, através de uma representação gráfica, das possíveis causas desses riscos, tornando-se um instrumento facilitador no gerenciamento dos riscos nessa atividade extrativista. A ponderação dos riscos mostrou que as poeiras contendo alto percentual de sílica cristalina (44,3%-70,7% de SiO₂), os ruídos, o uso de explosivos, as vibrações, e a informalidade da atividade extrativista foram os riscos que apresentaram os maiores percentuais, tanto para avaliação individual dos riscos quanto pela caracterização das etapas da exploração. As árvores de falhas estabelecidas possibilitaram descrever qualitativamente as principais causas dos acidentes fatais com trabalhadores, nos quais foram usadas as dimensões sugeridas pelo preenchimento do formulário FMEA e pela revisão de literatura. Os resultados obtidos durante a realização do estudo se configuram como essenciais para elaborar propostas, metas e estratégias para gerenciar os riscos avaliados através das metodologias supracitadas.

PALAVRAS CHAVES: Exploração de quartzito. Avaliação de risco. Metodologia FMEA. Árvore de falhas.

ABSTRACT

The present study seeks to identify and analyze the hazards in exploitation of ornamental stones. To reach the proposed objective, we conducted an investigation in the productive system (exploitation, beneficiation and marketing) in region of the Várzea city (PB), one of the main poles extractors and processors of quartzite of the state of Paraíba, Northeastern Brazil. The exploitation of quartzite is performed by several miners for more than 40 years and involves more than 900 workers, it's the main source of employment and income of the city. The study allowed to describe the productive system (exploitation, beneficiation and marketing), subdividing it into stages, identify and analyze only on the exploitation, the main hazards involved in each of its stages. Thus opted for a search of hybrid character (quantitative and qualitative) with the application of two risk assessment techniques: FMEA (analysis mode and effect of failures) and the FTA (fault tree analysis). The FMEA generated as results the definition of the risks of exploitation, its classification as to the importance, as also identified its causes, consequences and proposed measures that should be adopted to mitigate them. The FTA was used to allow a clear view through a graphical representation of the possible causes of these risks, becoming a facilitator in managing the risks in mining activity. The weighting of the risks showed that dust containing high percentage of crystalline silica (44.3% -70.7% SiO₂), the noise, the use of explosives, vibration, and the informality of mining activity were the risks that had the highest percentages, both for individual assessment of risks as for the characterization of the steps from exploitation. Finally, the fault trees were built, where possible qualitatively describe the main causes of fatal accidents involving workers. Since at this stage they were used dimensions suggested by completing the FMEA form and the literature review. The results obtained during the study are characterized as essential to draw up proposals, goals and strategies to manage the risks evaluated by the above methods.

KEYWORDS: Exploitation of quartzite. Risk assessment. FMEA methodology. Fault tree.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 - Diagrama de Venn Triplo caracterizando os componentes do risco | 27 |
| Figura 3.2 – Ilustrações gráficas para a elaboração da árvore de falhas | 32 |
| Figura 3.3 - Etapas da construção dos níveis da árvore de falhas..... | 33 |
| Figura 4.1 - Localização do município de Várzea e seu trajeto rodoviário partindo de Campina Grande (PB) | 34 |
| Figura 4.2 - Mapa geológico do município de Várzea (PB) | 38 |
| Figura 4.3 - Fluxograma metodológico da pesquisa..... | 39 |
| Figura 4.4 - Representações gráficas para a elaboração da árvore de falhas | 44 |
| Figura 5.1 - Localização da região de exploração de quartzito e da cidade de Várzea (PB)..... | 45 |
| Figura 5.2 - Representação gráfica da área requerida para pesquisa e exploração do mineral quartzito no município de Várzea - PB..... | 46 |
| Figura 5.3 - Fluxograma das etapas da exploração de quartzito no município de Várzea (PB) | 47 |
| Figura 5.4 - Lajotas e cavacos medidos e separados para o transporte | 49 |
| Figura 5.5 - Guincho utilizado para o transporte de materiais para dentro e fora das bancadas | 50 |
| Figura 5.6 - Via de acesso as banquetas e a presença de grandes valas na Serra do Poção..... | 51 |
| Figura 5.7 - Bancada apresentando matacões, taludes com inclinação negativa e rochas bastante fragmentadas..... | 54 |
| Figura 5.8 - Mosaicos produzidos pelas empresas de beneficiamento | 57 |
| Figura 5.9 - Máquina, tanque de decantação e vala de infiltração utilizados no processo de beneficiamento da rocha | 58 |
| Figura 5.10 - Usina piloto de beneficiamento dos resíduos de quartzito | 60 |
| Figura 5.11 - Correlação entre as etapas da exploração e os principais perigos | 75 |
| Figura 5.12 - Árvore de falhas para acidentes fatais: ausência de EPI's e uso de explosivos | 79 |
| Figura 5.13 - Árvore de falha para acidentes fatais: tombamento de veículo transportador..... | 83 |
| Figura 5.14 - Árvore de falha para acidentes fatais: movimento de massa e acidente com guincho..... | 86 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1 - Classificação do risco..... | 43 |
| Tabela 5.1 - Parâmetros praticados na Serra do Poção para realizar as perfurações | 52 |
| Tabela 5.2 - Parâmetros praticados na Serra do Poção para realizar as detonações | 53 |
| Tabela 5.3 - <i>Check list</i> dos impactos ambientais observados na exploração de quartzito na Serra do Poção | 55 |
| Tabela 5.4 - Formulário FMEA preenchido (remoção de solo, desmatamento e ausência de EPIs) | 62 |
| Tabela 5.5 - Formulário FMEA preenchido (EPGL e uso de explosivos) | 64 |
| Tabela 5.6 - Formulário FMEA preenchido (Vibrações, ruídos e movimentos repetitivos) | 66 |
| Tabela 5.7 - Formulário FMEA preenchido (Movimento de massa e uso de guincho precário)..... | 69 |
| Tabela 5.8 - Formulário FMEA preenchido (Tombamento de veículo transportador, Estéreis e Resíduos)..... | 71 |
| Tabela 5.9 - Formulário FMEA preenchido (Informalidade da exploração de quartzito) | 72 |
| Tabela 5.10 - Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total da exploração de quartzito | 73 |
| Tabela 5.11 - Classificação dos riscos da exploração de quartzito no município de Várzea (PB)..... | 74 |
| Tabela 5.12 - Percentagem dos perigos para cada etapa da exploração de quartzito | 76 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------|---|
| A | Abrangência |
| AR | Avaliação de Risco |
| Art. | Artigo |
| BA | Bahia |
| CCT | Centro de Ciência e Tecnologia |
| CEFEN | Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| COOPEVÁRZEA | Cooperativa dos Garimpeiros do Município de Várzea |
| CPRM | Serviço Geológico do Brasil, nome de fantasia advindo da razão social Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| D | Detecção |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| DRX | Difração de Raios-X |
| EPI | Equipamentos de Proteção Individual |
| EPC | Equipamentos de Proteção Coletiva |
| FMEA | Análise de modos e efeitos de falhas |
| FRX | Fluorescência de Raios-X |
| FSISF | Falha no Sistema de Iniciação e Sequência de Fogo |
| FTA | Análise de Árvore de Falhas |
| FT | Árvore de Falhas |
| HAZOP | Análise de Perigos e Operabilidade |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDHM | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal |
| INPE | Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais |
| MEV | Microscopia Eletrônica de Varredura |
| NBR | Normas Brasileiras Regulamentadoras |
| NR | Norma Regulamentadora |
| O | Ocorrência |

| | |
|--------|---|
| PB | Paraíba |
| PRAD | Plano de Recuperação de Áreas Degradadas |
| R | Risco |
| RN | Rio Grande do Norte |
| RNA | Redes Neurais Artificiais |
| RNP | Número de Prioridade de Risco |
| S | Severidade |
| SFPC | Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados |
| SUDENE | Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste |
| UFMG | Universidade Federal de Campina Grande |
| UNCCD | Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------------------------|---|
| % | Porcentagem |
| SiO ₂ | Dióxido de silício ou sílica |
| m ³ | Metro cúbico |
| Fe ₂ O ₃ | Óxido férrico ou hematita |
| km | Quilômetro |
| km ² | Quilômetro quadrado |
| m | Metro |
| BSh | B: árido; S: Clima das estepes e h: seco e quente |
| mm | Milímetro |
| R\$ | Real |
| n° | Número |
| § | Seção |
| °C | Graus Celsius |
| dB | Decibel |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 | OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 | Geral | 17 |
| 2.2 | Específicos | 17 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 3.1 | A indústria da Mineração | 18 |
| 3.1.1 | Histórico do desenvolvimento da mineração de quartzito no município de Várzea – PB | 19 |
| 3.1.2 | O quartzito | 20 |
| 3.2 | Os riscos associados a indústria da mineração | 22 |
| 3.3 | Análise de Risco | 24 |
| 3.3.1 | Conceitos fundamentais | 26 |
| 3.3.2 | Avaliação de Risco | 27 |
| 3.4 | FMEA | 29 |
| 3.5 | Árvore de Falha | 31 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 34 |
| 4.1 | Caracterização da área de estudo | 34 |
| 4.1.1 | Localização e características gerais | 34 |
| 4.1.2 | Caracterização fisiográfica | 35 |
| 4.2 | Aspectos metodológicos | 39 |
| 4.2.1 | Caracterização da exploração e beneficiamento de quartzito | 39 |
| 4.2.2 | Avaliação de risco | 40 |
| 4.2.3 | Aplicação da FTA | 43 |
| 5 | RESULTADOS E DISCURSÃO | 45 |
| 5.1 | Caracterização da exploração de quartzito na Serra do Poção | 45 |
| 5.1.1 | O processo de exploração de quartzito | 47 |
| 5.1.2 | Diagnóstico da área de exploração de quartzito na Serra do Poção | 51 |
| 5.1.3 | Impactos ambientais da exploração de quartzito | 54 |
| 5.2 | Caracterização do processo de beneficiamento do quartzito | 56 |
| 5.2.1 | Beneficiamento da rocha | 56 |
| 5.3 | Resultado da Avaliação de Risco | 60 |
| 5.3.1 | Resultado da FMEA | 60 |
| 5.3.2 | Resultado da importância e classificação dos riscos | 73 |
| 5.6 | Resultado da Análise de Árvores de falhas | 78 |
| 5.6.1 | Árvore de falha para acidentes fatais: ausência de EPI's | 78 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.6.2 | Árvore de falha para acidentes fatais: uso de explosivos | 80 |
| 5.6.3 | Árvore de falha para acidentes fatais: tombamento de veículo transportador..... | 82 |
| 5.6.4 | Árvore de falha para acidentes fatais: movimento de massa | 85 |
| 5.6.5 | Árvore de falha para acidentes fatais: uso de guincho precário | 87 |
| 6 | CONCLUSÃO | 89 |
| | REFERÊNCIAS..... | 91 |
| | APÊNDICE A – Tabela de Escores..... | 102 |

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades mais antigas da civilização humana e um setor econômico vital para muitos países como o Brasil. O uso de minerais e minérios por nações em todo o mundo é extenso e inclui a geração de energia elétrica, produção de cimento, aço, calcário agrícola, asfalto, medicamentos, bem como inúmeros eletrônicos e outros produtos manufaturados (GROVES; KECOJEVIC; KOMLJENOVIC, 2007). Em contrapartida, a indústria extrativista causa sérios riscos ao meio ambiente, principalmente, em função dos processos rudimentares que utilizam para o seu desenvolvimento.

As atividades extrativistas mineradoras estão associadas a riscos e danos irreversíveis ao meio ambiente, uma vez que essas ações podem proporcionar efeitos em grande escala, já que as atividades são potencialmente poluidoras e, por consequência, degradantes (BARKEMEYER et al., 2015). Desta forma, as avaliações de risco e de segurança são importantes em quase todos os setores da indústria de mineração. Os acidentes e perigos em minas de exploração de minérios são eventos indesejáveis muito complexos e vários fatores podem contribuir para a sua ocorrência. Segundo a Norma Regulamentadora (NR) nº4 do Ministério do Trabalho e Emprego, a exploração de minérios é classificada em grau de risco 4, numa escala que varia de 1 a 4 (BRASIL, 1978a).

Durante o desenvolvimento das operações de mineração, que compreendem uma série de fases, diversas formas de poluição são produzidas e liberadas, causando a poluição do ar, da água, rios e solos, mudanças na topografia, hidrogeologia e química dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Outros fatos preocupantes, principalmente para populações que vivem nas imediações das atividades extrativistas, são os possíveis fatores, agentes ou situações que possam determinar a ocorrência de eventos indesejáveis. Mesmo considerando todos os fatores prejudiciais ao meio ambiente, cidades de pequeno e médio porte recebem o investimento mineiro com grande expectativa, uma vez que ele representa o fortalecimento da economia local.

Os minerais e minérios podem ser utilizados e comercializados de várias formas para atender as demandas mundiais, como mencionadas anteriormente. Dentre esses, podemos citar o uso de rochas em caráter ornamental e de revestimento, requeridas principalmente para a construção civil. A exploração mineral

desses tipos de rochas no Brasil vem se intensificando nos últimos anos em função do uso crescente na construção civil.

O quartzito, exemplo bem emblemático de rocha ornamental, é uma rocha formada principalmente por quartzo, que é o mineral mais abundante da terra e sua exploração é objeto de estudo deste trabalho. O município de Várzea (PB) tem um grande destaque, em âmbito estadual, na exploração, beneficiamento e comercialização dessa rocha.

Diante da importância de tais aspectos, o presente trabalho evidencia os principais riscos associados ao processo de exploração de rochas ornamentais e estruturantes no município de Várzea (PB), aplicando duas metodologias da avaliação de risco: Análise de modos e efeitos de falhas e a Árvore de falhas.

Logo, almeja-se que os resultados que foram alcançados, a partir das aplicações dessas ferramentas da avaliação de risco, sirvam de fundamentos para a elaboração de um plano de gerenciamento de risco na área de estudo. Com a seleção e priorização dos riscos mais danosos à saúde do trabalhador, ao meio ambiente, à fauna e à flora locais, configurando-se assim, como um estudo precursor para o desenvolvimento de outros trabalhos para o mesmo fim: melhoria do desenvolvimento da atividade extrativista no município de Várzea (PB); e, em consequência, no semiárido nordestino.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar a avaliação de risco do processo produtivo de quartzito no município de Várzea - PB.

2.2 Específicos

- Caracterizar a área e os processos de exploração e de beneficiamento do quartzito;
- Avaliar os riscos do processo de exploração de quartzito instalado no município de Várzea (PB);
- Produzir subsídios para fundamentar um plano de gerenciamento de risco da exploração de quartzito.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A indústria da Mineração

A mineração é uma das atividades mais antigas da civilização humana. A indústria de mineração é um setor econômico vital, mas também é uma das atividades mais perigosas, tanto profissionalmente quanto ambientalmente (MORAES, 2005).

De acordo com os levantamentos de dados realizados pela CETEM (2013), foi a partir da década de 1990 que o Brasil experimentou um notável adensamento de atividades em todos os segmentos da cadeia produtiva no setor de rochas ornamentais, em decorrência do aumento das exportações desses produtos, especialmente, com a venda de chapas polidas de granito, bem como produtos acabados de ardósias e quartzitos foliados. Com isso, o Brasil tornou-se o quarto maior produtor e exportador mundial de rochas ornamentais e de revestimento no ano de 2006.

No ano de 2012 existiam cerca de 10 mil empresas, entre as quais pelo menos 400 são exportadoras, e respondiam aproximadamente por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos (CETEM, 2013). Segundo dados do Anuário Mineral Brasileiro, as reservas recuperáveis (30% das reservas medidas), no Brasil, são da ordem de 6 bilhões de m³ de rochas ornamentais, não existindo estatísticas consolidadas sobre as reservas mundiais (DNPM, 2010).

Dentro da mineração, no setor de rochas ornamentais, a Paraíba é o terceiro maior produtor de rochas ornamentais da região nordeste, com a mineração de rochas graníticas e quartzíticas (DNPM, 2010). Os quartzitos apresentam-se como excelentes opções para revestimento de pisos e paredes na forma de ladrilhos ou mosaicos (SANTOS et al., 2014).

A Província Borborema-Seridó está localizada na divisa dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, com mais de 400 corpos pegmatíticos distribuídos nos municípios de Junco do Seridó, Várzea, Salgadinho, Taperoá, Juazeirinho, Cubati, São Vicente do Seridó, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Picuí e Frei Martinho, na Paraíba; e Ouro Branco, Equador, Santana, Jardim do Seridó, Acari, Carnaúba dos Dantas, Parelhas, Lajes Pintadas, São Tomé, Rui Barbosa, Caiçara do Rio dos Ventos e Jardim dos Angicos, no Rio Grande do Norte (BARBATO; OGASAWARA; SAMPAIO, 2008).

3.1.1 Histórico do desenvolvimento da mineração de quartzito no município de Várzea – PB

A Microrregião do Seridó, no semiárido da Paraíba, é famosa pela grande predisposição para a atividade mineral em pequena escala, onde ocorre uma grande variedade de minerais como o feldspato, o caulim, o quartzo, a mica, a tantalita/columbita, as gemas, o granito, o quartzito, entre outros.

A exploração da substância mineral quartzito, na Microrregião do Seridó, ocorre desde o século passado, onde foi utilizada inicialmente em cercas e em revestimentos de calçadas das casas de fazendas de gado, além de recobrimento de cômodos nas casas antigas de cidades como Santa Luzia (PB), Parelhas (RN), e Caicó (RN). A partir da década de 1940, o seu uso foi intensificado com a utilização de placas de quartzitos talhadas em revestimento de paredes externas de casas.

Os mineiros pioneiros do município de Várzea (PB) teriam iniciado a exploração do mineral quartzito de forma rudimentar e artesanal (VIDAL et al., 2013) a partir dos afloramentos das rochas, sem realizar nenhum plano de lavra, já que no início da década de 1970 não existiam recursos legais, tecnológicos e profissionais capacitados para iniciar os primeiros trabalhos extrativistas de uma forma mais industrial. Esses trabalhos tiveram início a partir das falhas geológicas nas rochas.

Os produtos gerados eram lavrados manualmente e vendidos diretamente ao consumidor, produtos esses utilizados para preenchimento de alicerces e para revestimento de calçadas.

No final da década de 1960 surgem as primeiras serrarias na região, que faziam o beneficiamento do quartzito mediante o talhe manual e o emprego de máquinas de corte dotadas de serras diamantadas. Essa pequena mecanização propiciou a conquista de novos mercados como Campina Grande (PB), João Pessoa (PB), Natal (RN) e Recife (PE), e, conseqüentemente, a ampliação do processo produtivo e da demanda por essa matéria prima (SOUSA et al., 2012).

Esse aumento da demanda e da produção proporcionou a exploração dos depósitos de quartzitos por uma população considerável de pequenos mineradores, também denominados de garimpeiros, principalmente no entorno dos municípios de Ouro Branco (RN), Junco do Seridó (PB) e Várzea (PB).

Com a chegada das primeiras empresas de beneficiamento, no final da década de 1970, os produtos gerados na atividade extrativista no município de Várzea

(PB) passaram a ser vendidos a elas, que realizavam o corte da rocha bruta em formato quadrado ou retangular utilizando máquina com serras diamantadas. No período do inverno, quando as minas são encharcadas pelas chuvas, os trabalhadores se dedicam à agricultura de subsistência, plantando feijão, milho, batata-doce, jerimum, entre outros.

Com o decorrer dos anos, essa procura por rochas quartzíticas pelas indústrias da construção civil tornou-se crescente, principalmente, por ele ser considerado um produto de altíssima qualidade física e estética.

Para alavancar mais recursos para os garimpeiros adquirir áreas e legalizá-las, foi fundada em 13 de maio de 2007 a Cooperativa dos Garimpeiros do Município de Várzea – COOPEVÁRZEA. No presente ano, 2015, a mesma possui 102 mineiros associados, mas estima-se que pelo menos 900 pessoas participem da cadeia produtiva do quartzito na região.

Nos últimos vinte anos, o desenvolvimento da produção de quartzito se configura bastante expressiva, entretanto, esse crescimento não foi acompanhado de estudos geológicos e tecnológicos necessários para garantir o aproveitamento racional das jazidas. Ao passar dos anos, essas jazidas foram exploradas, em sua maioria, na informalidade, de forma rudimentar, sem a aplicação de tecnologias adequadas de lavra e beneficiamento, o que provocou pilhas de resíduos nos solos e um considerável passivo ambiental nas áreas mineradas.

Infelizmente, o processo de exploração de quartzito na Serra do Poção ainda é, na sua maioria, de forma rudimentar, na informalidade e causando significativos danos ambientais, sem conhecimentos técnicos essenciais, como de segurança, de profissionais capacitados, como engenheiros de minas e ambientais, técnicos em mineração, entre outros (LIRA; NEVES, 2013).

3.1.2 O quartzito

“O quartzito é uma rocha metamórfica constituída por mais de 80% de quartzo. A interpenetração dos grãos de quartzo confere à rocha uma grande tenacidade.” (VIERA; SOUZA; GONZAGA, 2013). Segundo Costa (1950), a maior parte das rochas metamórficas apresenta aspecto nitidamente cristalino. O quartzito é um dos mais importantes nesta família e apresentam, em sua maioria, foliações mais ou menos nítidas e dureza 7 na escala de Mohs, que atribuiu valores de 1 a 10. Portanto, é uma

rocha dura e compacta, de fratura subconchoidal ou conchoidal e brilho semelhante ao do quartzo (AMORIM, 2012).

Os quartzitos contêm, além do quartzo, proporções variáveis de outros minerais, principalmente feldspato, moscovita e biotita. Os quartzitos em geral são brancos, cinzas claro, amarelos ou castanhos. No entanto, devido à presença de grãos microscópicos de minerais acessórios podem apresenta-se em outras cores. Assim, podem ser encontrados na natureza quartzitos esverdeados, devido à presença de epídoto, azulados, em virtude da cianita, purpúreos por causa da hematita, ou clorita, e pretos devido ao grafite, à magnetita ou a biotita.

Eles podem se diferenciar facilmente dos arenitos, porque quando estes últimos se partem, a fratura dá-se pelo cimento, ficando os grãos do quartzo salientes, enquanto nos quartzitos a fratura corta toda a massa da rocha. “Em relação a alguns calcários, cujo aspecto é semelhante, os quartzitos distinguem-se por serem muito mais duros e por não darem efervescência com ácidos.” (PONTES et al., 2005 apud AMORIM, 2012, p.15).

Alguns quartzitos da mesorregião do Seridó foram estudados por Viera, Souza e Gonzaga (2013), num total de cinco amostras com diferentes tonalidades de cor: branco, preto, dourado, verde e rosa. Eles foram caracterizados através de fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), com o objetivo de analisar a sua composição química e mineralógica. Visando a produção de cerâmica para porcelanato como forma de aproveitamento dos resíduos gerados pelas empresas de beneficiamento.

Dentre os quartzitos estudados, o dourado e o rosa apresentaram os maiores teores de SiO_2 (acima de 90%) e menores teores de Fe_2O_3 (menos de 1,0%), enquanto que os outros quartzitos, principalmente o branco e o preto possuem teores de dióxido de silício menores e maiores teores de ferro (Branco: 70,7 % de SiO_2 e 4,3% Fe_2O_3 , preto: 44,3% SiO_2 e 25,3% Fe_2O_3) (VIERA; SOUZA; GONZAGA, 2013).

Os resultados de DRX mostraram que a composição mineralógica dos quartzitos é a seguinte: o quartzito branco é composto por quartzo, moscovita, e feldspato (microclínio). No quartzito dourado há quartzo, moscovita e microclínio; o quartzito preto é constituído de quartzo, biotita, albita e clorita; já o quartzito rosa por quartzo, moscovita, e feldspato (ortoclase); o quartzito verde é composto de quartzo e moscovita (VIERA; SOUZA; GONZAGA, 2013).

3.2 Os riscos associados a indústria da mineração

Historicamente, a indústria de mineração tem sido associada a riscos, principalmente ao meio ambiente, a fauna, a flora (VIEIRA, 2011). Uma vez que, as operações de mineração compreendem uma série de fases que envolvem a detecção, exploração e beneficiamento do recurso mineral, que, na maioria dos casos, encontra-se sob a superfície da terra. Cada uma dessas operações poderão causar alterações ambientais significativas, principalmente nos locais em que o empreendimento se encontra instalado e nas áreas circunvizinhas a ele, muitas vezes gerando situações de risco, como lançamentos de fragmentos rochosos, modificação de cursos d'água, supressão da vegetação, aceleração de processos erosivos no solo, aumento de emissão de gases e partículas em suspensão no ar e aumento de ruídos (BITAR, 1997).

O método de lavra a ser utilizado para a exploração dos minérios e minerais é considerado um dos fatores determinantes dos níveis de alterações ambientais, tendo grande influência na natureza e na extensão dessas adulterações. A escolha do método mais apropriado depende de certas características das jazidas e, as vezes, de fatores externos não controláveis. De acordo com o art. 4º do código de mineração, “considera-se jazida toda massa individualizada de substância mineral ou fóssil, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, e que tenha valor econômico.” (BRASIL, 2011, p. 26). A grande maioria dos bens minerais é lavrada por métodos tradicionais, como o a céu aberto (em superfície) ou subterrâneo (em subsuperfície).

De acordo com a NBR 9061, a escavação de rocha a céu aberto é feita através de bancadas (ABNT, 1985). As bancadas, ou bancos, são degraus feitos nas minas para a exploração de minérios, nelas são encontradas três regiões características: praça, face e topo. A primeira, a praça, é a região da superfície na qual operam os equipamentos de carga e transporte do material escavado; a face é a superfície vertical ou levemente inclinada deixada pelo desmonte; o topo é a superfície onde operam os equipamentos de perfuração, carregamentos de explosivos e drenos. A altura da bancada é a distância na vertical entre a base, cota inferior, e o topo da bancada.

A mineração a céu aberto apresenta os maiores riscos de comprometimento ambiental, gerando maior quantidade de estéril, poeira em suspensão, vibrações e riscos de poluição das águas, caso não sejam adotadas técnicas de controle da

poluição. E por isso, a exploração de rochas a céu aberto é considerada o setor industrial mais perigoso. Em compensação, sua investigação pode ser rápida, precisa e de baixo custo, representando, portanto, um desafio para a comunidade científica (CHEN et al., 2015).

Na mineração a céu aberto, o desmonte das rochas é realizado com a utilização de explosivos. O controle desses explosivos e acessórios iniciadores é realizado de acordo com as instruções e normas estabelecidas pelo Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados – SFPC, e encontradas no Regulamento para Fiscalização de Produtos Controlados (R-105) (BRASIL, 2000), com o objetivo de evitar que esses produtos fiquem ao alcance de pessoas não habilitadas e que sejam desviados para outros fins.

De acordo com Khandelwal e Sihgh (2009), apenas uma fração da energia explosiva (20-30%) é utilizada na ruptura real e deslocamento da massa de rocha, o resto da energia é dissipada gerando efeitos indesejáveis, como vibrações no solo, ruídos, entre outros.

As vibrações no solo são consideradas um dos grandes efeitos da mineração por poderem ocasionar danos significativos aos mineiros (FARAMARZI; FARSANGI; MANSOURI, 2014; THOMAS; STEPHEN, 2009), ao meio ambiente (KUZU, 2008), as construções civis (HAKAN; KONUK, 2008; SINGH; ROY, 2010), etc. Tais fatos foram investigados e discutidos por Farhad, Mohammad Ali, e Hamid (2014) sobre os aspectos de segurança das estruturas vizinhas e dos potenciais riscos, análise de frequência, e resposta humana em uma mina no Irã. Já Thomas e Stephen (2009) avaliaram que a resposta biológica de cada ser envolve também uma série de fatores fisiológicos e psicológicos.

Os ruídos gerados durante as operações em lavra são outros efeitos da mineração que podem casar danos significativos ao meio ambiente, especialmente ao homem.

A indústria extrativa mineral é ainda responsável pelas maiores taxas de mortalidade dentre toda a indústria brasileira, na ordem de 30% seguida pelo setor da construção civil 17% (CETEM, 2013). Dentro da mineração, o setor de rochas ornamentais, apresenta altos índices de acidentes de trabalho, e os acidentes mais graves, quase sempre são fatais. Ainda deve se destacar que as estatísticas de acidentes não incluem os trabalhadores autônomos (contribuintes individuais). Isto é importante no caso do setor de rochas ornamentais, que é constituído, em sua maioria,

por pequenas e micro empresas e que conta com grande quantidade de trabalhadores autônomos que circulam habitualmente pelas pedreiras e unidades de beneficiamento (CETEM, 2013).

A legislação brasileira apresenta uma série de normas que regulamentam a atividade extrativista mineral, só que muitos desses regulamentos não são cumpridos, o que contribui ainda mais para aumentar os riscos nesse setor da economia.

3.3 Análise de Risco

Nas últimas décadas, a análise de risco tem sido bastante utilizada para gerir e integrar as questões ambientais aos processos industriais. Segundo Marhvilasa, Koulouriotis e Gemenib (2011, p.477, tradução nossa), a “[...] análise de risco surgiu como um procedimento eficaz e abrangente, que suplementa e complementa a gestão global de quase todos os aspectos da nossa vida.”

De forma genérica, essa análise permite a descrição de possíveis fatores, agentes ou situações que possam determinar a ocorrência de eventos indesejáveis, propor medidas e intervenções que possam evitá-los ou controlá-los, buscando, sempre, a participação da população ou grupo que sofrerá as consequências advindas dos eventos indesejáveis, ainda que esta participação signifique apenas a disponibilização de informação.

A análise de risco é considerada uma ferramenta essencial para a priorização da proteção sanitária, humana e ambiental (BUTT et al., 2014). Desta forma, os gestores de saúde, meio ambiente e sistemas de infraestrutura física, todos podem incorporar a análise de risco em seu processo de tomada de decisão (MARHAVILASA; KOULOURIOTIS; GEMENIB, 2011). Uma vez que, ela se fundamenta em vários conceitos e pressupostos que a caracterizam como um instrumento flexível e passível de ser aplicada em diferentes áreas do conhecimento e adaptada a situações diversas.

A revisão de literatura sobre a análise de risco permitiu aferir que este tipo de abordagem é sim bastante difundido e dinâmico, pois permite ser explorada por diversas áreas do conhecimento humano: biologia (MOTARJEMI; ROSS, 2014), saúde (MANICKUM; JOHN, 2014), química (KUMAR; SIVASANKAR; GOPALAKRISHNA, 2013), alimentação (SERRANO et al., 2012), história (ORTIZ et al., 2013), entre outros.

Os autores citados anteriormente abordaram conceitos, ferramentas, e metodologias que foram desenvolvidos e praticados visando, especialmente, a obtenção de conclusões precisas sobre os potenciais efeitos adversos de determinadas substâncias para a saúde humana, para a segurança alimentar e, também, para facilitar o desenvolvimento de estratégias de conservação que podem minimizar a deterioração do patrimônio histórico, respectivamente.

Basicamente, a análise de risco compreende três procedimentos a serem desenvolvidos de forma integrada: a avaliação de risco (AR), o gerenciamento de risco e comunicação de risco.

A avaliação de risco constitui-se como uma fase preliminar e crucial no ciclo de planejamento e gestão dos riscos (PAITHANKAR, 2011), principalmente, em atividades com características perigosas, como a mineração (VAN DUIJNE et al., 2008). Já para Mahdevari, Shahriar e Esfahanipour (2014), ela é a parte central para se determinar as prioridades da gestão de risco, pois permite identificar os perigos que podem originar a ocorrência de eventos indesejáveis, servindo de fundamento para estabelecer medidas que deverão ser tomadas para mitigar os efeitos adversos dos riscos.

Para Harms-Ringdahl (apud BAHN, 2013, p.130, tradução nossa), avaliação de risco pode ser, portanto, "[...] um procedimento sistemático para identificar e avaliar os riscos." Podemos estabelecer que a avaliação de risco poderá ser definida em função das características do processo, evento, produto a ser estudado. Para Viana (2012, p.34):

É um estudo que visa identificar os perigos de uma atividade, um projeto ou uma área, seguido pela valoração do risco existente para possíveis receptores, podendo ser bens, pessoas ou ambientes. Além disso, devem ser propostas medidas de gerenciamento, tanto preventivas como emergenciais em um eventual acidente, em vista de se diminuir o risco e minimizar as consequências adversas (dano).

O gerenciamento de risco, por sua vez, envolve o estabelecimento de medidas e intervenções corretivas ou preventivas de modo a minimizar ou evitar os impactos relacionados aos eventos indesejáveis.

E por fim, a comunicação de risco compreende a fase de disponibilizar para a população ou grupo exposto as informações referentes aos fatores, agentes ou situações que possam causar eventos indesejáveis, garantindo, assim, não apenas o direito à informação, mas também o estabelecimento de medidas de proteção

individual e coletiva. O papel da participação comunitária é visto como um elemento chave no desenvolvimento da análise de risco.

Como é possível observar, o desenvolvimento da análise de risco poderá trazer informações relevantes e conclusivas que permitirão fundamentar os gestores em suas decisões. Percebida essa importância e a eficácia da análise de risco na gestão ambiental, a legislação ambiental vem impondo ela como um meio para se atender aos requisitos legais associados a avaliação, gerenciamento e comunicação dos riscos (BUTT et al., 2009).

3.3.1 Conceitos fundamentais

Como mencionado anteriormente, a análise de risco se fundamenta em vários conceitos e pressupostos que auxiliam a compreender a sua aplicação. É necessário compreender os conceitos básicos de perigo e risco e como eles podem ser aplicados dentro do contexto da exploração de minérios, objeto de estudo deste trabalho.

Segundo a norma técnica P4.261, o perigo “é uma ou mais condições físicas ou químicas com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente.” (CETESB, 2011, p.6). Já Viana (2012) avalia que ele pode ser caracterizado como um evento, ou uma situação com o potencial de causar mal. Um perigo, portanto, é formado hipoteticamente quando uma encosta ou um bloco de pedra está sob a ameaça de desabar. Outro exemplo interessante é a chuva, pois quando há muito ou muito pouco dela, então ela pode ser caracterizada como um perigo. O nível de risco é uma medida da gravidade do risco representado por um único perigo.

Para Aven (2012), estudar o conceito do risco é considerado uma etapa importante para a análise de riscos, uma vez que poderá fornecer uma compreensão dos pilares fundamentais da avaliação, gestão e comunicação dos riscos. Ele pondera que as aplicações e abordagens sobre o risco incidem sobre diferentes disciplinas e áreas, que apresentam necessidades diferentes, como por exemplo, estatística, engenharia, saúde. Por isso, diferentes pontos de vista sobre o risco são encontrados na literatura (AVEN, 2012).

No contexto científico, o risco pode ser uma medida quantitativa, ou seja, um valor a ser obtido através do produto do risco potencial e da sua probabilidade de

ocorrência ou a probabilidade de um evento indesejável acontecer; ou ainda pode ser definido como uma medida qualitativa, um evento, por exemplo (AVEN, 2012).

O risco é delineado, normalmente, em função da natureza do perigo, acessibilidade ou vias de contato (potencial de exposição), características das populações expostas (receptores), da probabilidade de ocorrência de riscos, da magnitude das exposições e de suas consequências (GUPTA et al., 2002; KOLLURU, 1996; VIANA, 2012). De acordo com a norma técnica P4.261 (CETESB, 2011, p.7), “risco é uma medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados a esses cenários.”

Para que o risco ocorra é necessário que exista algo ou alguém para sofrer tal dano, e que, necessariamente, esteja no alcance de tal evento. Em outras palavras um perigo só pode causar dano se existir um receptor, e necessariamente, uma via de exposição que ligue efetivamente tal perigo a ele. O Diagrama de Venn Triplo pode ser utilizado para caracterizar os componentes do risco (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Diagrama de Venn Triplo caracterizando os componentes do risco



Fonte: Adaptado de Viana (2012).

3.3.2 Avaliação de Risco

A avaliação de risco consiste na aplicação de um juízo de valor para discutir a importância dos riscos e suas consequências sociais, econômicas e ambientais. Servindo de suporte técnico para a tomada de decisões perante incertezas (VIANA, 2012).

Para a sua aplicação, a avaliação de risco se baseia no princípio de que todas as atividades de uma organização envolvem riscos. Desta forma, é imprescindível a adoção e implementação de procedimentos para identificar sistematicamente os riscos, sua probabilidade e gravidade, e propor medidas para que eles possam ser gerenciados. Para isso, a avaliação de risco apresenta uma série de metodologias consolidadas e bem estruturadas para este fim, das quais, o contexto do objeto de estudo é quem determina qual abordagem é mais adequada. As metodologias para a avaliação de risco podem ser classificadas em três categorias principais: qualitativas, quantitativas, e técnicas híbridas.

As técnicas qualitativas se baseiam na experiência e no conhecimento adquirido dos membros da organização e dos especialistas no assunto, para identificar os eventos de risco e avaliar a probabilidade e consequências destes. Já nas técnicas quantitativas, o risco pode ser considerado como uma quantidade, que pode ser estimada e expressa por uma relação matemática, com a ajuda dos dados sobre o objeto a ser estudado. Por exemplo, caso se deseje investigar a segurança em um ambiente de trabalho, serão necessários os dados de acidentes reais registrados naquele local.

As técnicas híbridas apresentam uma grande complexidade, devido ao seu caráter *ad hoc* (pontual) que impede a ampla divulgação, pois se refere a uma solução destinada a atender a uma necessidade específica ou resolver um problema imediato - e apenas para este propósito, não sendo, geralmente, aplicável a outros casos.

A avaliação de risco consiste, portanto, em um processo de estimativa de probabilidade de ocorrência de um determinado acontecimento e a provável magnitude de efeitos adversos (em termos de segurança, saúde, ecologia, ou economia) durante um determinado período de tempo (KOLLURU et al., 1996). A avaliação de risco configura-se assim, como suporte técnico para a tomada de decisões.

De modo geral, as etapas para a avaliação de risco são as seguintes:

- Identificação dos perigos;
- Identificação de quem ou o que será exposto ou potencialmente exposto aos riscos derivados dos perigos identificados;
- Estimativa dos efeitos físicos dos riscos;
- Estimar o risco (qualificação e quantificação do risco) ou seja o grau da sua perigosidade dos danos e o grau de probabilidade de ocorrência desse dano;

- Análise das consequências e estipulação de medidas para eliminar o risco ou, no caso de não ser possível, ver como o controlar e minimizar;
- Caracterização do risco.

3.4 FMEA

A FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis* - Análise do Modo e Efeitos de Falhas é uma metodologia que busca analisar as falhas potenciais e propor ações de melhoria, com a finalidade de aumentar a segurança e confiabilidade (TRAFIALEK; KOLANOWSKI, 2014) de um processo, projeto, operação ou até mesmo de um sistema complexo. Ela consiste em uma análise qualitativa dos modos de disfunção seguidos de uma análise quantitativa de seus efeitos, basicamente, em termos de probabilidade e impacto (ou gravidade) (FANG et al., 2012).

Os modos de falhas podem ser compreendidos como as formas com que os defeitos ou erros se apresentam e como eles se desenvolvem para gerar as falhas (TOLEDO; AMARAL, 2006; SCIPIONI et al., 2002). Os efeitos são as manifestações das falhas, ou seja, pode-se dizer que são os resultados produzidos quando os modos de falhas vêm a ocorrer, configurando-se como as consequências destes. As causas que desencadearam os modos de falhas são outros aspectos a serem avaliados, pois elas revelam os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer (SOUZA, 2011).

Para desenvolver a FMEA é necessária a constituição de uma equipe avaliadora que terá a finalidade de identificar os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas desta falha (SOUZA, 2011).

O primeiro passo na FMEA é identificar todos os possíveis modos de falhas potenciais do objeto de estudo (processo, projeto, operação ou sistema) por uma sessão de debate sistemático. Depois disso, a análise crítica é realizada sobre esses modos de falha, levando-se em conta os fatores ou parâmetros de risco: severidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e abrangência (A). O número de prioridade de risco (R) é então mensurado através da multiplicação desses parâmetros (Equação 1). Liu, Liu e Liu (2013) expressa que quanto maior o valor de R de um modo de falha, maior será o risco.

$$R = S \times O \times D \times A \quad (1)$$

De acordo com a equação 1, a severidade (S) se refere a gravidade que tem o perigo caso ele venha a acontecer; a ocorrência (O) se refere à probabilidade com que o perigo ocorre atualmente durante o processo; a detecção (D) refere-se à probabilidade de detectar uma falha antes que possa ocorrer, ou seja, está relacionada a percepção de detecção da falha; e a abrangência (A), por sua vez, refere-se à dimensão com que o perigo pode afetar a área na qual está inserido o processo.

De acordo com Souza (2011), é através da valoração de cada um desses parâmetros que se quantifica o perigo, transformando-o em um risco. E que as principais discussões geradas nas reuniões para preenchimento dos formulários FMEA giram em torno dessa valoração, configurando-se assim, como a etapa mais importante.

De uma forma geral, fundamentando-se em Toledo e Amaral (2006), a execução de uma FMEA é realizada por um grupo de pessoas que seguem uma série de etapas sucessivas:

- Etapa 1: corresponde ao planejamento, no qual define-se o objeto de estudo, a equipe avaliadora, as datas das reuniões e a preparação dos documentos necessários para a aplicação da metodologia FMEA;
- Etapa 2: análise do processo ou produto em cada parte, a lista de possíveis falhas identificadas, a avaliação de sua frequência, gravidade (em termos de efeitos da falha no processo e para o ambiente), da técnica de detecção e da sua abrangência, identificação das ações corretivas e planos de controle que poderão eliminar ou reduzir a chance de as potenciais falhas ocorrerem, aumentando a confiabilidade do produto, processo ou procedimento. Também são elaboradas as tabelas de escores que irão nortear o grupo para o preenchimento do formulário FMEA;
- Etapa 3: ocorre na reunião FMEA, na qual o grupo irá avaliar as falhas em potencial, discutir e preencher o formulário FMEA, baseando-se nas tabelas de escores para cada parâmetro de risco;
- Etapa 4: consiste na melhoria do processo, ponderando as medidas que foram realmente tomadas, desencadeando assim, uma nova avaliação dos riscos;
- Etapa 5: incide em revisar a análise confrontando as falhas potenciais já consideradas pelo grupo com as que realmente vem acontecendo no dia-a-dia

do processo e uso do produto, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo.

3.5 Árvore de Falha

Gharahasanlou et al. (2014) avaliam que a análise de árvore de falhas, ou em inglês Failure Tree Analysis (FTA) é uma metodologia eficiente e precisa para a avaliação e gestão de riscos na indústria de mineração e que sua aplicação é uma necessidade urgente nesse sistema produtivo.

A FTA envolve o desenvolvimento de um modelo gráfico de percursos dentro de um sistema que pode conduzir a uma situação indesejável e predefinida, que é referida como o Evento topo, uma vez que está localizada no topo da árvore de falhas (ZHANG; KECOJEVIC; KOMLJENOVIC, 2014). Considerando que cada situação envolve uma série de causas e efeitos.

Para Januário (2013, p.23):

[...] o objetivo da Árvore de Falhas é determinar quais possíveis combinações de falhas de componentes de um sistema ou erros humanos poderiam acarretar a ocorrência de um evento indesejado e quais destas combinações são as que mais contribuem para a ocorrência deste evento.

A FTA consiste em uma representação gráfica da interação de todas as possíveis falhas paralelas e/ou sequenciais que podem levar à ocorrência do evento topo predefinido e indesejado, utilizando-se de um processo lógico e dedutivo. (RAJAKARUNAKARAN; KUMAR; PRABHU, 2015). Essa definição permite uma melhor compreensão de como o evento indesejado ocorreu, as conexões funcionais entre as falhas e a identificação de relação de causa e efeito. Desta forma, ações alternativas podem ser consideradas baseando-se na árvore de falhas com a finalidade de reduzir ou mesmo eliminar tais situações indesejadas, sendo os resultados usados na tomada de decisões (MARHAVILASA, KOULOURIOTISB e GEMENIB, 2011).



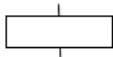



O evento topo, na maioria dos casos, é escolhido com base na sua criticidade. Já os eventos intermediários são as causas da ocorrência do evento topo. E os eventos de base são considerados como ramos de falha que não necessitam de maior desenvolvimento. Em uma árvore de falhas, o evento topo, os intermediários e os

básicos são ligados entre si por portas lógicas, principalmente, as portas “E” e “OU”. Estes portões mostram as relações de eventos de entrada necessários para a ocorrência de uma falha na saída da porta.

A porta E combina eventos de entrada, nos quais devem existir simultaneamente para que ocorra a saída, ou seja, descreve a interseção dos conjuntos contendo todos os eventos de entrada para essa porta. Já a porta OU combinam eventos de entrada, nos quais qualquer um é suficiente para provocar a saída. Esta descreve a união dos conjuntos que contêm todos os eventos de entrada para a porta.

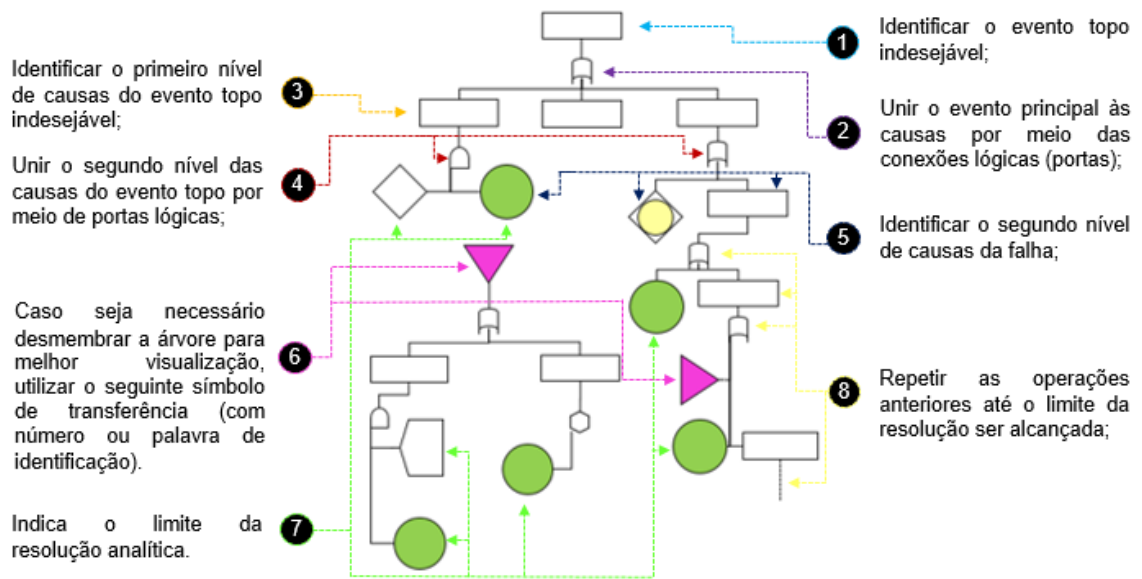
O evento topo e os intermediários são representados por retângulos, enquanto que os eventos básicos são mostrados com um círculo de coloração verde (Figura 3.2), ambos tendo o evento descrito dentro de cada uma das figuras. Se os dados da falha não estão disponíveis, este evento é chamado de um "evento subdesenvolvido" e um símbolo de diamante é usado para representá-lo. Estes eventos refletem as condições iniciais que são as causas do acidente principal. Também um símbolo de triângulo é usado para mostrar a ‘transferência’, ou seja, indica que há conexão em uma outra parte da árvore (GHARAHASANLOU, 2014; JANUÁRIO, 2013; WANG; ZHANG; CHEN, 2013). A Figura 3.3 apresenta basicamente as etapas para a construção de uma Árvore de falhas.

Figura 3.2 – Ilustrações gráficas para a elaboração da árvore de falhas

| Símbolo | Descrição |
|---|--|
|  | Porta E – saída ocorre apenas se ambas as entradas ocorrem simultaneamente. |
|  | Porta OU – saída ocorre se ao menos uma das entradas ocorrer individualmente ou em qualquer combinação. |
|  | Evento topo ou intermediários – nome evento ou descrição do evento, código, probabilidade de ocorrência (opcional) pode ser inserido dentro deste símbolo. |
|  | Evento básico – evento que não pode ser subdividido. |
|  | Evento Subdesenvolvido – evento pelo qual não foi realizada uma análise detalhada ou por ausência de dados da falha não estão disponíveis deixando-o para análise futura ou mesmo por ser considerado desnecessário. |
|  | Símbolo de transferência – símbolo de conexão a outra parte da árvore. |

Fonte: Adaptado dos trabalhos de Gharahasanlou (2014), Januário (2013) e Wang, Zhang e Chen (2013).

Figura 3.3 - Etapas da construção dos níveis da árvore de falhas



Fonte: Elaborada pela a autora, 2014.

4 MATERIAL E MÉTODOS

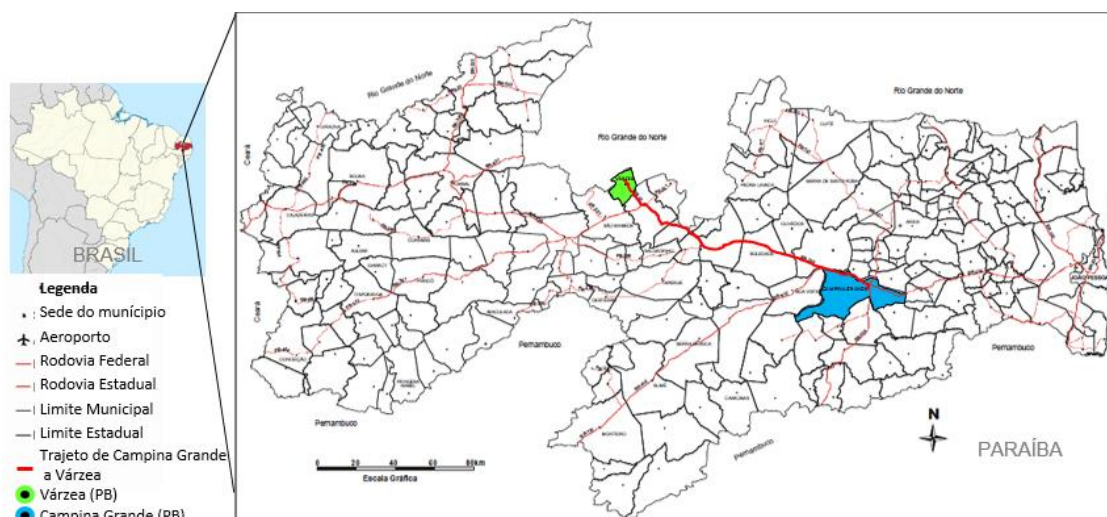
4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 Localização e características gerais

O município de Várzea limita-se ao norte com os municípios de Ouro Branco (RN) e São José do Sabugi (RN), a leste com Ouro Branco (RN) e Santa Luzia (PB), ao sul com São Mamede (PB) e Santa Luzia, e a oeste com São Mamede (PB), Ipueira (RN) e São João do Sabugi (RN). Ele tem uma área territorial de aproximadamente 190 km² e uma população de 2504 habitantes que sobrevivem prioritariamente da exploração, beneficiamento e comercialização do quartzito. Outras atividades econômicas também são desenvolvidas no Município, como a pecuária, a caprinocultura, a agricultura familiar e o comércio de bens de primeira necessidade. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM é o quarto melhor do estado - 0,707 (IBGE, 2014).

A sede do Município de Várzea, cujas coordenadas geográficas são 06° 46' 19" Sul e 36° 59' 31" Oeste, está localizada na microrregião do Seridó Ocidental Paraibano, Mesorregião da Borborema do estado da Paraíba e Mesorregião do Seridó do Semiárido brasileiro, situa-se a uma altitude de 263 m, distando 289 km da capital João Pessoa e a aproximadamente 150 km da cidade de Campina Grande (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Localização do município de Várzea e seu trajeto rodoviário partindo de Campina Grande (PB)



Fonte: Adaptado de CPRM (2005)

O acesso ao Município a partir de Campina Grande é feito pela rodovia federal BR-230, no sentido Leste-Oeste, em percurso de 137 km até o município de Santa Luzia, passando por Soledade, Juazeirinho e Junco do Seridó (Figura 4.1). A partir daí, segue-se pela rodovia estadual PB-233, no sentido noroeste, em trecho aproximado de 14 km, até chegar à sede de Várzea (DNIT, 2013).

4.1.2 Caracterização fisiográfica

Esta parte da caracterização (Seções 4.1.2.1 a 4.1.2.7) foi baseada na revisão de literatura e em estudos realizados nos municípios de Várzea (PB), especialmente os lideradas pelo professor Antônio Pedro Ferreira Sousa da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. No qual, suas pesquisas tinham por objetivo realizar levantamentos geológicos básicos, caracterização tecnológica das jazidas, métodos de lavra utilizados e como se dava o aproveitamento integral dos minerais (SOUSA et al.; 2002; 2012).

4.1.2.1 Geomorfologia

A microrregião de Várzea, onde estão as áreas mineradas de quartzitos, está situada entre a escarpa ocidental do Planalto da Borborema e os alinhamentos de serras, na fronteira com o Rio Grande do Norte, denominada de Depressão Sertaneja (AESA, 2006a).

Apresenta um relevo tabular com predominância de cotas relativamente baixas (240-300m), entretanto, em algumas áreas isoladas emergem os inselbergs e as elevações em forma de serras que acompanham as linhas do relevo, como as Serras do Poção, da Cozinha, da Mandioca, da Viola, com cotas variando de 530 a 630 metros (SOUSA et al., 2002).

4.1.2.2 Clima

A região do município de Várzea está inserida no Polígono das Secas, apresentando alta radiação solar, com um clima semiárido quente do tipo BSh (seco e quente) de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, com chuvas de verão, intenso grau de evaporação, e médias pluviométricas anuais entre 400 e 600 mm (AESA, 2006b).

De acordo com o quadro bioclimático da Paraíba, a região no entorno de Várzea enquadra-se no bioclima subdesértico quente de tendência tropical, com chuvas irregulares e a estação seca muito longa (9 meses). As temperaturas médias são maiores que 18°C em todos os meses do ano; sendo as médias das máximas em torno dos 33°C e das mínimas de 22°C (IBGE, 2002).

4.1.2.3 Hidrografia

O município de Várzea encontra-se inserido na bacia hidrográfica do Rio Piranhas, sub-bacia do Rio Seridó. Alguns de seus principais tributários são os riachos: do Poção, da Caiçara, da Cozinha, do Cordeiro, do Juá, Queimadas, Chafariz, São Domingos, do Rolo.

Os principais corpos de acumulação são os açudes: Costa Ramalho, o da Quixaba, o Água Azul. Todos os cursos d'água no Município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005).

4.1.2.4 Pedologia

Nessa região semiárida a evolução do solo é lenta, com baixa presença de matéria orgânica devido à falta d'água por estiagem prolongada. O solo das áreas mineradas é pouco evoluído, raso, areno-pedregoso, com pouca diferenciação dos horizontes, com características do tipo *Neossolo Litólico* (Sousa et al., 2002).

A área de solo exposto, sem cobertura vegetal, no Município é de 10,5 Km², correspondendo a 6% de sua área territorial (INPE, 2012). Na região da área minerada, a espessura média é de 0,50 m (VIDAL et al., 2013).

4.1.2.5 Flora

O município de Várzea está inserido no bioma Caatinga, nome de origem Tupi-Guarani e que significa floresta branca (PERALTA; OSUNA, 1952 *apud* LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). Nessa área, essa definição é observada no período de estiagem, quando as folhas caem e revelam troncos de cor esbranquiçada.

As espécies vegetais identificadas na área em estudo são xique-xique, pereiro, macambira, mulungú, angico, jurema branca, jurema preta, baraúna, aroeira,

maniçoba, pinhão, amorosa, calumbi, coronha, faveleira, entre outras do domínio das hiperxerófilas. Nos locais onde se observa a devastação da caatinga primitiva destaca-se a presença de algaroba, espécie não endêmica. Outras espécies da região podem ser encontradas em maior ou menor proporção, dependendo da intensidade do uso do solo.

No Município de Várzea (PB), a caatinga preservada corresponde a 15%, 29,5 Km², de seu território, e a caatinga degradada corresponde a 63%, 119,8 Km² (INPE, 2012).

4.1.2.6 Fauna

A fauna local está representada por uma grande variedade de pássaros, mamíferos e répteis tais como jacu, beija-flor, rolinhas, conchiz, pacas, saguis, camaleões, cobras, preás, entre outros (SOUSA et al, 2012).

4.1.2.7 Geologia

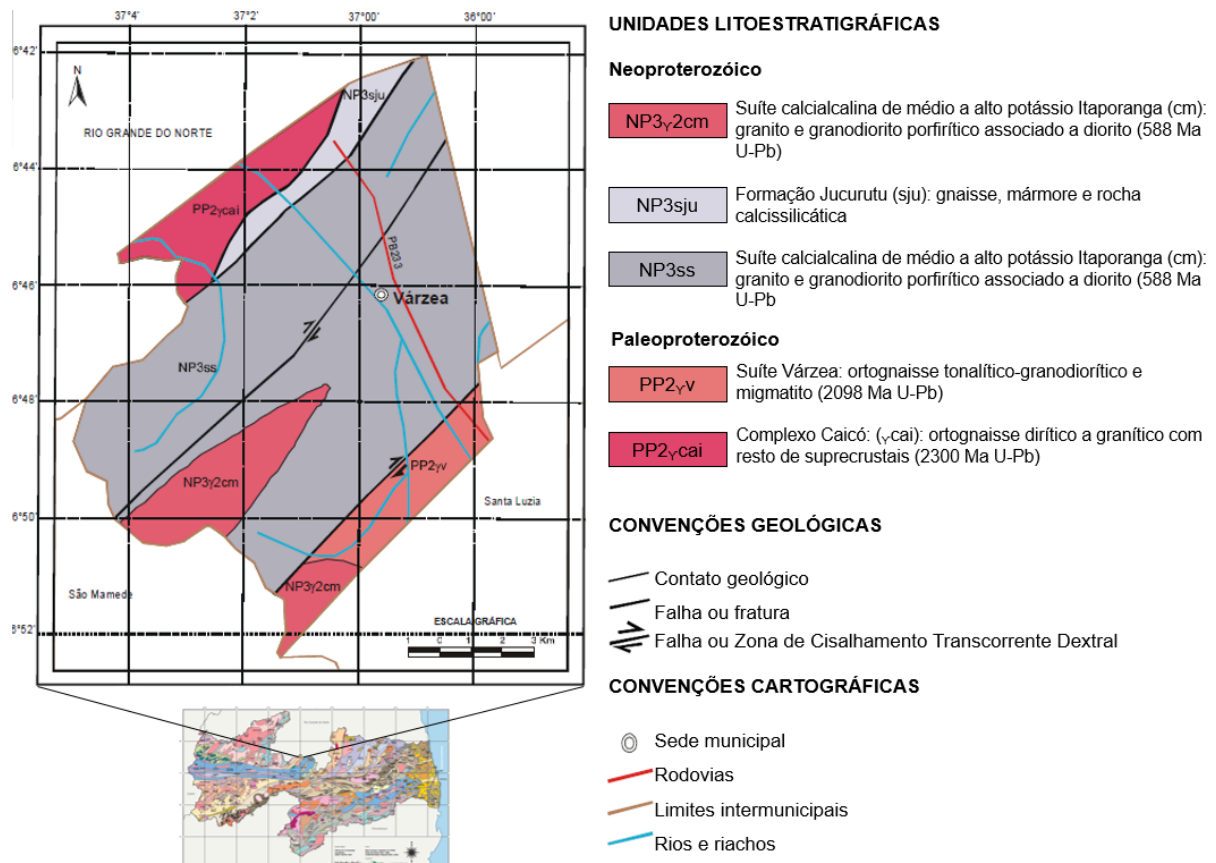
A região de exploração de quartzito é constituída por rochas (metamórficas e ígneas) pré-cambrianas de um embasamento Gnaíssico-Migmatítico, o Complexo Caicó, com idade Paleoproterozóica, recoberto por uma sequência supracrustal do Grupo Seridó de idade Neoproterozóica, constituído pelas Formações Jucurutu e Seridó (FERREIRA et al., 2008). Elas estão inseridas na região de dobramentos Nordeste da Província Pegmatítica Borborema – Seridó (OLIVEIRA; CUNHA; MENDES, 2013), que aflora em toda área do município em estudo (Figura 4.2), sendo limitada pelo lineamento Patos, zona de cisalhamento (SILVA et al, 2010).

O Complexo Caicó representa duas associações litoestratigráficas distintas, uma vez que é impossível individualizá-las na escala do mapa, sendo uma de origem vulcanos sedimentar e outra metaplutônica mais jovem. A primeira é formada por paragnaisses, anfibolitos, quartzitos ferríferos, formações ferríferas, gnaisses bandados e migmatitos. A segunda é composta principalmente por ortognaisses tonalíticos a granodioríticos graníticos, leucoortognaisses graníticos com lentes de rochas anfibolíticas e migmatitos, além de augen gnaisses (SILVA NETO; SILVA; GALINDO, 2005).

A Formação Jucurutu é formada de gneisses ricos em quartzo, biotita xistos, gnaisses calcissilicáticas, mármore, rochas metavulcânicas máficas (VAN SCHMUS et al., 2003), epídoto, anfibólio paragneisses (OLIVEIRA; CUNHA; MENDES, 2013), e tactitos (skarn) intercalados, seguida por quartzitos, metarcósios e metaconglomerados basais da Formação Equador (FERREIRA et al., 2008).

A Formação Seridó compreende a faixa de Dobramentos Seridó, que aflora na região central do Rio Grande do Norte, e estende-se até a Paraíba (SOUSA et al., 2012). A sua litologia dominante é constituída de biotita xisto, micaxistos feldspáticos ou aluminosos de médio a alto grau metamórfico, metarritmito, clorita-sericita xisto, quartzitos Equador.

Figura 4.2 - Mapa geológico do município de Várzea (PB)



Fonte: Adaptado de CPRM (2005).

De acordo com Sousa et al. (2012), os quartzitos oriundos do município de Várzea apresentam uma coloração esbranquiçada a creme e cinza (leucocrática), com granulação fina a média, holocristalina, com foliação bem desenvolvida, foliadas com os planos de foliação metamórficas paralelas, agudas e intensas, espaçadas de 3 a 4

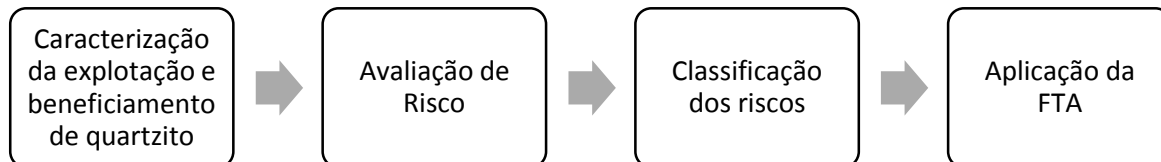
cm aos planos de estratificação. A foliação aparece subvertical, em ângulos entre 70 e 90 graus. A espessura das camadas de quartzito pode variar de 1,8 a 3,5 cm (VIDAL et al., 2013).

Embora foliados, os quartzitos são altamente resistentes à ruptura e ao impacto, o que garante a sua durabilidade. Em termos mesoscópicos é uma rocha metassedimentar, clástico-psamítica, exibindo desenhos dentrícticos de cor cinza-escuro e brilho micáceo disperso, apresentando-se intensamente fraturada e dobrada (SOUSA et al., 2012).

4.2 Aspectos metodológicos

O fluxograma da sequência metodológica utilizada no estudo é apresentado na Figura 4.3, enquanto o desenvolvimento detalhado desta fase é abordado nos itens que se seguem.

Figura 4.3 - Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.1 Caracterização da exploração e beneficiamento de quartzito

À priori realizou-se no primeiro semestre de 2014 inspeções em campo e uma extensa revisão bibliográfica. A revisão tinha por objetivo realizar um levantamento de informações existentes que fossem relevantes para o estudo em questão. Já as inspeções in loco tinham a finalidade de obter uma descrição pormenorizada dos processos e rotinas operacionais da exploração e beneficiamento de quartzito no município de Várzea (PB). Essa descrição englobou o máximo de informações relevantes e a elaboração de um diagnóstico da área de exploração, com o objetivo de servir de fundamentação para o desenvolvimento das outras etapas subsequentes.

Como não foi possível realizar o estudo nas indústrias de beneficiamento de quartzito no município de Várzea (PB), o presente trabalho realizou a avaliação de risco apenas para o processo de exploração de quartzito, objetivando elaborar e propor medidas que posteriormente servirão para elaborar um modelo de gerenciamento de riscos.

4.2.2 Avaliação de risco

A análise de risco é desenvolvida em três etapas, normalmente, de forma integrada: a Avaliação de Risco (AR), o Gerenciamento de Risco e a Comunicação de Risco. Todavia, como não é possível estabelecer uma atuação administrativa na região de exploração e beneficiamento de quartzito no município de Várzea (PB), o presente trabalho irá realizar a avaliação de risco apenas para o processo de exploração de quartzito, propondo medidas que posteriormente servirão para elaborar um modelo de gerenciamento de riscos.

4.2.2.1 Aplicação da metodologia FMEA

Para a etapa a avaliação de risco do processo de exploração de quartzito no município de Várzea (PB) utilizou-se como metodologia a FMEA. Ela foi escolhida porque permite definir e identificar os possíveis modos potenciais de falha - perigos, suas causas e efeitos. Além do mais, ela permite uma análise e priorização dos riscos através da apreciação dos principais perigos.

Logo, através dessa metodologia de avaliação de risco pode-se analisar quais seriam as causas e as consequências, caso o perigo venha a ocorrer para o meio ambiente, para os trabalhadores, fauna, flora e até para o município de Várzea (PB). E com isso, elaborar medidas que poderiam ser adotadas para evitar ou atenuar os efeitos caso os modos de falha venham a ocorrer.

I. Identificação dos perigos

Para a identificação das falhas, perigos, baseou-se na apreciação de cada etapa da exploração realizada na Serra do Poção, nas características fisiográficas da região e também através da revisão de literatura.

II. Construção do Formulário FMEA

Na constituição do formulário FMEA considerou-se os perigos, os tipos de perigos, os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e os escores para quantificação do risco.

O tipo de perigo está relacionado à sua potencialidade, à sua existência, se ele é potencial ou real, representado respectivamente por R ou P. Os efeitos são os resultados produzidos quando os perigos vêm a ocorrer, ou seja, podemos considerar como as consequências do modo de falha. As causas são os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, podem estar relacionados às áreas circunvizinhas, aos fatores ambientais, erros humanos, etc.

O número de prioridade de risco (R), outro componente do formulário FMEA, é um índice obtido a partir da multiplicação de quatro parâmetros de risco, que são a severidade (S), a ocorrência (O), a detecção (D) e a abrangência (A). A severidade (S) se refere a gravidade que tem o perigo caso ele venha a acontecer; A ocorrência (O) se refere à probabilidade com que o perigo ocorre atualmente durante o processo; A detecção (D) refere-se à probabilidade de detectar uma falha antes que possa ocorrer, ou seja, está relacionada a percepção de detecção da falha. A abrangência (A), por sua vez, refere-se à dimensão com que o perigo pode afetar a área na qual está inserido o processo. E o número de prioridade de risco (R) refere-se ao resultado da multiplicação de S, O, D e A.

As medidas mitigadoras são as recomendações que podem ser executadas para se evitar, diminuir ou compensar a ocorrência da falha.

III. Construção da tabela de escores

Para a construção da tabela de escores (APÊNDICE A) para os quatro parâmetros de riscos (S, O, A, D), fundamentou-se nos trabalhos de Brand et al. (2013), Liu, Liu e Liu (2013), Trafialek e Kolanowski (2014) e Souza (2011).

Brand et al.(2013) elaboraram uma proposta de modificação da metodologia FMEA com o propósito de contemplar conceitos de proteção ao meio ambiente.

Liu, Liu e Liu (2013) realizaram uma revisão de literatura sobre os diferentes modelos FMEA que são propostos com o intuito de superar as deficiências no cálculo

do risco (R) e melhorar o desempenho da análise. Neste estudo, eles analisaram 75 trabalhos publicados entre 1992 e 2012 em periódicos internacionais e os categorizaram em função das abordagens utilizadas para superar as limitações do cálculo do risco.

Trafialek e Kolanowski (2014) utilizaram a análise FMEA associada a análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) para identificar e analisar os perigos em duas padarias localizadas na Polónia. Para mensurar os riscos, eles consideraram como parâmetros a severidade, a ocorrência e a detecção, com escores que variavam de 1 a 10.

Já Souza (2011), utilizou-se da metodologia para identificar, avaliar e quantificar os perigos inerentes à água distribuída na cidade de Campina Grande (PB), nordeste do Brasil.

Os escores para valorar cada parâmetro do risco variam de 1 a 3, sendo 1 para situações mais favoráveis e 3 para situações mais agravantes, 2 para situações meio termo.

4.2.2.2 Importância e classificação dos riscos

Depois do preenchimento dos escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência dos formulários FMEA, tornou-se necessário descobrir o percentual de cada risco avaliado em relação ao risco total do processo de exploração de quartzito. Para isso, considerou-se que todos os riscos que podem ocorrer num processo de exploração de quartzitos se referem aos riscos contidos nos formulários FMEA. A porcentagem de cada risco no risco total do sistema foi calculada dividindo o risco individual pela soma de todos os riscos, como expresso na Equação 2.

$$P = \frac{R_i}{\sum_1^n R} \quad (2)$$

Em que:

P = Ponderação;

R_i = Risco individual;

N = Quantidade de riscos;

$\sum_1^n R$ = Soma dos riscos.

Para classificar os riscos e tornar a informação mais compreensível e didática, desenvolveu-se uma classificação em 5 faixas. Para isso, considerou-se que a menor pontuação a ser obtida no cálculo do número de priorização de risco seria 1 e o valor máximo seria 81. A Tabela 4.1 apresenta a classificação que foi adotada.

Tabela 4.1 - Classificação do risco

| Faixa (Intervalo do risco) | Classificação |
|-----------------------------------|----------------------|
| $1 < x \leq 16$ | Desprezível |
| $16 < x \leq 32$ | Baixo |
| $32 < x \leq 48$ | Moderado |
| $48 < x \leq 64$ | Alto |
| $64 < x \leq 81$ | Crítico |

Fonte: Adaptado de Souza, 2011.

4.2.3 Aplicação da FTA





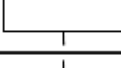





Por último, desenvolveu-se as árvores de falhas, nas quais possibilitou descrever qualitativamente as principais causas dos acidentes fatais com trabalhadores. A FTA foi utilizada para permitir a clara visualização, através de uma representação gráfica, das possíveis causas relacionadas a morte de trabalhadores na região.

As etapas que foram utilizadas para a aplicação do método FTA foram:

- Reconhecimento dos acontecimentos indesejáveis baseados nos resultados obtidos na aplicação da FMEA, na revisão de literatura e nas observações na área de estudo;
- Divisão dos acontecimentos em grupos com origens semelhantes;
- Identificação do evento topo;
- Construção dos níveis subsequentes ou ramos da árvore de falhas;
- Determinação das combinações mínimas de falhas para que se origine o evento topo, baseando-se na exploração de quartzito do município de Várzea (PB).

A Figura 4.4 apresenta todas as representações utilizadas para a construção da árvore de falhas.

Figura 4.4 - Representações gráficas para a elaboração da árvore de falhas

| Símbolo | Descrição |
|---|--|
|  | Porta E – saída ocorre apenas se ambas as entradas ocorrem simultaneamente. |
|  | Porta OU – saída ocorre se ao menos uma das entradas ocorrer individualmente ou em qualquer combinação. |
|  | Porta inversora – saída representa uma condição contrária da entrada. |
|  | Porta inibidora – permite aplicar uma condição ou restrição a sequência. |
|  | Evento topo ou intermediários – nome evento ou descrição do evento, código, probabilidade de ocorrência (opcional) pode ser inserido dentro deste símbolo. |
|  | Evento básico – evento que não pode ser subdividido. |
|  | Evento Normal – evento que já tenha ocorrido, que sempre ocorre ou que irá ocorrer com certeza. |
|  | Evento Subdesenvolvido – evento pelo qual não foi realizada uma análise detalhada ou por ausência de dados da falha não estão disponíveis deixando-o para análise futura ou mesmo por ser considerado desnecessário. |
|  | Evento analisado separadamente – evento que já foi analisado em outra parte da árvore ou que é analisado em outra árvore de falha. |
|  | Símbolo de transferência – símbolo de conexão a outra parte da árvore. |

Fonte: Adaptado dos trabalhos de Gharahasanlou (2014), Januário (2013) e Wang, Zhang e Chen (2013).

5 RESULTADOS E DISCURSÃO

5.1 Caracterização da exploração de quartzito na Serra do Poção

A área de exploração, Serra do Poção, localiza-se no município de Várzea (PB), a noroeste da cidade, a cerca de 5 km na PB-233 na direção da cidade de Caicó (RN), entre as Folhas Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V) e Serra Negra do Norte (SB.24-Z-B-IV) (SUDENE, 1972) (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Localização da região de exploração de quartzito e da cidade de Várzea (PB)



Legenda

- Mapa da localização da exploração de quartzito
- Sede do município Várzea – PB
- Rodovia

Fonte: Adaptado do Google Maps (2013).

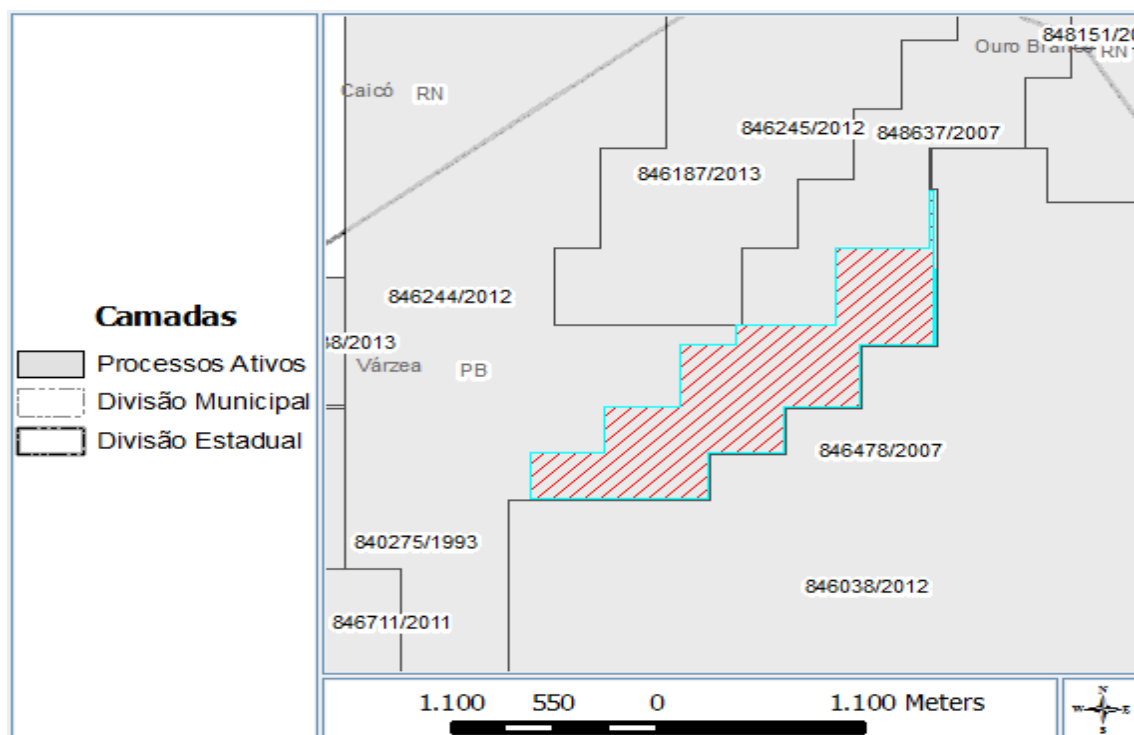
A Serra do Poção possui 25 km de extensão e abriga uma das grandes reservas de quartzitos do estado da Paraíba (VIERA; SOUZA; GONZAGA, 2013). Na Serra do Poção existem cerca de 80 jazidas, sendo aproximadamente 30 delas situadas no município de Várzea (PB) (SANTOS et al., 2014).

Nas jazidas são extraídas dois tipos de rochas quartzíticas - a Itacolomy do Norte, que é a rocha branca, e a Colombita, que é a rocha preta. A produção semanal é de 40 a 140 m² de quartzitos por banquetta (SOUSA, 2002). Cada garimpeiro da exploração de quartzito deixa 10% do que arrecada por caminhão para o dono da terra, 5% para a Cooperativa e 2% para o CEFEN (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais), que é estabelecida pela Constituição de 1988, em seu Art. 20, § 1º (BRASIL, 1988).

No final de 2009, através do processo nº 846.478/2007, a COOPEVÁRZEA obteve o alvará de autorização de pesquisa para realizar a pesquisa mineral em uma área de 135,30 ha. Em 2010, a partir da emissão da Guia de utilização nº 006/2010 (BRASIL, 2010), a Cooperativa foi autorizada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, a realizar também nessa área uma lavra experimental e extrair a substância mineral quartzito na quantidade máxima de 4.000 toneladas/ano.

O método de lavra é definido de acordo com o corpo mineralizado, no caso da exploração de quartzito no município de Várzea (PB), o método de lavra utilizado na região é o ‘a céu aberto’.

Figura 5.2 - Representação gráfica da área requerida para pesquisa e exploração do mineral quartzito no município de Várzea - PB

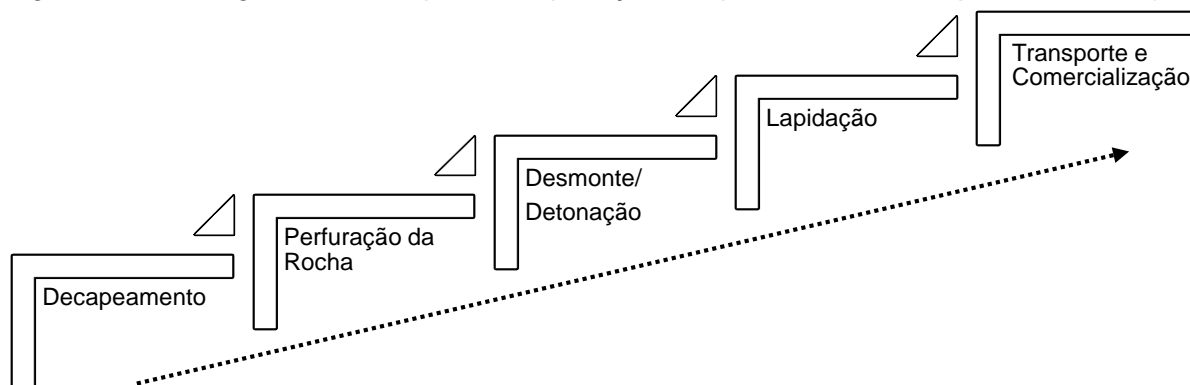


Fonte: DNPM, 2013.

5.1.1 O processo de exploração de quartzito

As etapas de exploração de quartzitos utilizados na Serra do Poção são representadas no fluxograma abaixo (Figura 5.3).

Figura 5.3 - Fluxograma das etapas da exploração de quartzito no município de Várzea (PB)



Fonte: Elaborada pela autora.

5.1.1.1 Decapeamento

O decapeamento consiste na retirada do material de capeamento que fica sobre o material rochoso, que tem uma espessura média de 0,50 m (SOUSA et al., 2012), com a utilização de escavadeiras, tratores e caminhões.

Em condições legais, a supressão da vegetação que ocorre durante o decapeamento, deveria ocorrer com prévia autorização do órgão ambiental competente, no qual tem por objetivo determinar as condições nas quais deverão ocorrer a remoção da vegetação e do solo, mas esse processo é normalmente realizado de acordo com as condições de operação de cada proprietário da frente de lavra ou banqueta.

Em algumas áreas da região de exploração em Várzea-PB, na maioria das vezes, o processo de decapeamento não é necessário devido ao afloramento do quartzito no terreno.

Os resíduos gerados durante esse processo são denominados de estéril, que é composto basicamente de solo, da vegetação e de fragmentos de rocha. Eles são removidos e armazenados em pilhas provisórias, normalmente, no topo das bancadas, o qual, eles denominam área de bota-fora. Essas atividades são realizadas

mediante o uso de um trator de esteira, caminhões, de uma carregadeira e/ou de uma escavadeira.

Uma parte dos estéreis gerados é utilizada para a recuperação das estradas de acesso e para recompor a topografia do local lavrado, na medida em que forem atingindo os limites de exaustão da jazida.

5.1.1.2 Perfuração das rochas

A perfuração das rochas dentro do campo dos desmontes tem como finalidade abrir furos, com a distribuição e a geometria adequadas aos maciços rochosos para alojar a carga de explosivos e acessórios iniciadores. Essa perfuração é realizada por martelos pneumáticos operados, normalmente, por dois mineiros – o proprietário da banqueta e uma espécie de técnico em perfuração, devido à força do equipamento. As malhas perfuradas variam de acordo com a quantidade de material a ser retirado e a maneira como o proprietário deseje seu espaço de trabalho.

5.1.1.3 Desmonte/Detonação

A detonação é realizada por um bláster, profissional capacitado para atuar nas atividades de mineração e desmonte urbano, para o transporte, armazenagem e manuseio de explosivos dentro das melhores técnicas de trabalho, com segurança e obedecendo a legislação vigente. De acordo com o Decreto nº 3.665, Art. 3º, XXXII, o bláster “é o elemento encarregado de organizar e conectar a distribuição e disposição dos explosivos e acessórios empregados no desmonte de rochas” (BRASIL, 2000, p.3).

Após a etapa da perfuração, o bláster faz o carregamento dos furos com os explosivos e acessórios iniciadores, baseando-se em um plano de fogo. O Plano de fogo representa o projeto detalhado de desmonte por explosivos, que inclui os seguintes parâmetros: furos (número, geometria e disposição espacial) e os explosivos e acessórios iniciadores (características dos produtos, quantidades, distribuição da carga, carga máxima por espera, forma de iniciação e sequência de detonação) (CETESB, 2015).

Antes de se efetuarem as detonações, as áreas próximas a elas são evacuadas por medidas de segurança e saúde dos outros trabalhadores. Após as

detonações, grandes quantidades de estéreis são formadas, sendo posteriormente retiradas para o bota fora.

O controle dos explosivos e acessórios é realizado de acordo com as instruções e normas estabelecidas pelo Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados – SFPC, e encontradas no Regulamento para Fiscalização de Produtos Controlados (R-105) (BRASIL, 2000), com o objetivo de evitar que esses produtos fiquem ao alcance de pessoas não habilitadas e que sejam desviados para outros fins.

5.1.1.4 Lapidagem

Depois que o material é detonado, acontece o processo de limpeza, ou seja, retirada do estéril que é originado durante a detonação e separação das rochas. Em seguida, inicia-se a sua lapidação, na qual, a rocha é aberta em suas veias utilizando-se de picaretas, alavancas, martelos e cunhas metálicas manuais, formando lajotas, lajes ou cavacos de quartzito, que são espalhadas pela praça, medidas e separadas (Figura 5.4).

Figura 5.4 - Lajotas e cavacos medidos e separados para o transporte



Fonte: Foto da autora, Serra do Poção, Várzea (PB), 2014.

Depois da rocha ser lapidada, retira-se das banquetas com o auxílio de carroças de mão e guinchos com sistema de carretel (Figura 5.5), que é composto de uma haste, uma base, onde tem um motor que é movido a óleo diesel ou gasolina, que traciona o guincho. As lajotas são içadas em tinas (pneus cortados em forma de uma bacia, presos por cabos de aço), desde a praça da banqueteta até o seu topo. Rochas de quartzito são utilizadas para fixar e estabilizar o guincho no topo da banqueteta.

Três tipos de produtos são gerados: a laje, que é utilizada para a fabricação de pisos; a lajota que é utilizado para o preenchimento de alicerces; e cavaco, que é utilizado para a fabricação dos mosaicos.

Figura 5.5 - Guincho utilizado para o transporte de materiais para dentro e fora das bancadas



Legenda:

A – Vista lateral do guincho

B – Tinas utilizadas para acomodar o material a ser transportado

C – Detalhe da base do guincho feitas de rochas

Fonte: Fotos da autora, Serra do Poção, Várzea (PB), 2014.

5.1.1.5 Transporte e Comercialização

O transporte dos produtos gerados até as empresas de beneficiamento é realizado por caminhões do tipo Chevrolet D60 traçado e Mercedes-Benz MB 1620.

Na saída das áreas de exploração são cobrados os royalties que variam de R\$100,00 R\$ a R\$ 400,00, dependendo do tipo de caminhão e o tipo de material transportado (laje, cavaco ou lajota). Esses royalties são taxas cobradas pelos arrendadores da terra aos garimpeiros, uma espécie de contrapartida pela retirada do

material de sua propriedade. O quartzito é vendido às indústrias de beneficiamento em média a R\$ 7,00/m².

5.1.2 Diagnóstico da área de exploração de quartzito na Serra do Poção

Na Serra do Poção podem ser observados logo na entrada da área de exploração grandes pilhas de resíduos e grandes valas (Figura 5.6). O acesso aos locais de carregamento dos mineiros e dos caminhões que transportam as rochas torna-se difícil e arriscado, tanto devido à esse grande acúmulo de estéreis e rejeitos, como também das estradas sinuosas e da ausência de sinalização.

A retirada da vegetação e do solo, indispensável para a preparação da área a ser minerada e para atender as necessidades do avanço das frentes de lavra, causam grande descaracterização do relevo da região e grande parte do solo encontra-se exposto. Avalia-se, portanto, que o desmatamento é realizado sem nenhum planejamento, no qual, acarreta ameaças a fauna e a flora locais.

Figura 5.6 - Via de acesso as banquetas e a presença de grandes valas na Serra do Poção



Legenda:

- A – Via de acesso as banquetas na Serra do Poção com a acomodação de grandes pilhas de estéril e rejeitos nas suas laterais;
- B – Banquetas com grandes valas;
- C – Abrigos improvisadas pelos mineradores;
- D - Pilhas de estéril e equipamentos sobre as bancadas.

Fonte: Fotos da autora, Serra do Poção, Várzea (PB), 2014.

Nas banquetas são evidentes a acomodação de estéril e de equipamentos como o guincho sobre as bancadas. A maioria dos mineiros improvisam abrigos com as próprias rochas para permanecerem no local de trabalho durante a semana (Figura 5.6). Assim como, não utilizam equipamentos de segurança individuais (EPIs) e coletivos (EPCs). Com a ausência desses equipamentos, muitos inalam partículas durante todo o período de trabalho, podendo vir a adquirir problemas respiratórios, como a silicose.

A má qualidade do ar advém também dos gases emitidos pelos caminhões de transporte dos minérios, das operações com os guinchos (queima de gasolina ou óleo), das máquinas e dos provenientes da queima dos explosivos. Observa-se também assoreamento ou alterações nos cursos de águas, como córregos, decorrentes, principalmente, das operações na frente de lavra e da abertura de estradas.

A perfuração das rochas na área extrativista é realizada a seco, configurando-se como insalubre pela grande presença de silicatos. Não existe um planejamento para definir um plano de furos adequado, uma malha de perfuração, uma vez que a distribuição dos furos é definida pelo proprietário da banqueta. Portanto, as lavras não são planejadas por um técnico capacitado, por isso, não obedecem a um ciclo de produção com o máximo de aproveitamento da jazida em lavra (mina). Em média, o comprimento do furos variam de 0,8 m a 3,2 m e não existe uma medida mínima para o espaçamento entre os furos, como podemos observar na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Parâmetros praticados na Serra do Poção para realizar as perfurações

| Parâmetro | |
|---------------------------|---|
| Malha (ExA) | Não se aplica |
| Afastamento | 0,8 a 0,9 m |
| Espaçamento | Não se aplica |
| Altura da bancada | Depende da frente de lavra, varia de 2 a 4 m |
| Total perfurado em metros | Vária de acordo com a necessidade de desmonte do garimpeiro |
| Profundidade do furo | 0,8 a 3,2m |
| Subfuração | Não se aplica |
| Diâmetro da Perfuração | 3 cm |
| Número de furos | Varia de acordo com a necessidade de desmonte do garimpeiro |
| Número de linhas | Não se aplica |
| Condições meteorológicas | As perdurações não são realizadas em dias chuvosos |

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

Na área de exploração de minérios do Município, o plano de fogo não é utilizado ou é elaborado de forma ineficiente, ficando a critério dos próprios garimpeiros. Utiliza-se como explosivo o nitron e o cordel detonante para efetua-se as detonações, na Tabela 5.2 estão inseridas as informações referentes ao processo de detonação para a referida área em estudo.

Tabela 5.2 - Parâmetros praticados na Serra do Poção para realizar as detonações

| Parâmetro | |
|--|---|
| Explosivo | Nome: Nitron |
| | Tipo: Em pó |
| Cordel detonante | A metragem depende das dimensões da banqueteta |
| Altura da carga de fundo | Não se aplica |
| Altura da carga de coluna | Varia de acordo com a altura do furo, em média é de 0,5 m |
| Altura da carga de explosivo (m) | 0,5 m |
| Razão de carregamento (kg/m ³) | Não se aplica |
| Tampão | Tamanho: 0,4 a 0,8 m, composto de rejeito de quartzito |
| | Diâmetro: 3 cm |
| Condições meteorológicas | As detonações não são realizadas em dias chuvosos. |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Pode-se observar que as técnicas de desmonte utilizadas são inadequadas e que não existe um planejamento adequado, pois é visível a grande quantidade de matacões - blocos de rocha, compacto e geralmente arredondado, de diâmetro superior a 25 cm, presença de taludes com inclinação negativa, movimentos de massa, e grandes fragmentações das rochas devido ao uso excessivo de explosivos (Figura 5.7). Com isso, grandes quantidades de estéreis são gerados diariamente, dificultado sua destinação adequada.

Ruídos e vibrações decorrentes dos métodos de desmontes também podem afetar a estrutura do solo, as formações dos maciços, à saúde dos trabalhadores, a fauna local e a estrutura de habitações circunvizinhas a atividade extrativista do Município. A frequência constante dos ruídos nessa área e a supressão da vegetação provocam o afugento da fauna local.

Figura 5.7 - Bancada apresentando matacões, taludes com inclinação negativa e rochas bastante fragmentadas



Legenda:

A – Grande quantidade de matacões;
B – Taludes com inclinação negativa;

C – Banqueta apresentando movimento de massa;
D - Rochas bastante fragmentadas.

Fonte: Fotos da autora, Serra do Poção, Várzea (PB), 2014.

5.1.3 Impactos ambientais da exploração de quartzito

A norma NBR ISO 14001 define o impacto ambiental como "qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização" (ABNT, 2004, p. 2).

Enquanto isso, a legislação federal, resolução CONAMA nº 1, art. 1, define impacto ambiental como:

“[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.” (CONAMA, 2012, p. 922).

A mineração a céu aberto é uma das atividades mais impactantes da indústria extrativista, pois uma notória descaracterização do relevo pode ser observada em curto espaço de tempo (SANTOS, 2011). O desmonte de rochas com explosivos, principalmente, é uma das operações que se pode destacar como causa dos impactos mais desconfortantes para o meio ambiente (FONTANELLI et al., 2015).

É notório considerar que o efeito de um impacto pode ser positivo ou negativo. Já o efeito de um risco é sempre negativo, adverso. Os estudos de risco incluem sempre o conceito de probabilidade; os de impacto, não necessariamente (BRILHANTE; CALDAS, 1999).

A tabela 5.3 enfatiza alguns dos impactos negativos avaliados na área de estudo.

Tabela 5.3 - *Check list* dos impactos ambientais observados na exploração de quartzito na Serra do Poção

| Etapas | Impactos negativos (continua) |
|------------------------|--|
| Decapeamento | Alteração do ecossistema, da qualidade do solo e da qualidade da água da chuva; Erosão e assoreamento provocados pela supressão da flora; Desequilíbrio do fluxo hidráulico dos cursos d'água, provocada pela alteração dos canais; Impacto visual (paisagístico) gerado pela formação de grande número de cavas, pela inexistência de projetos de recuperação da área minerada; Perturbação, migração e atropelamento da fauna; Poluição sonora (ruídos); Emissão de gases e poeiras em suspensão; Remoção e modificação da vegetação nativa, degradação paisagística; Aumento da taxa de evaporação. |
| Perfuração | Geração de ruídos; Prejuízos a saúde do trabalhador causados pelos movimentos repetitivos, pela ausência de EPIs, pela inalação de poeiras com concentração alta de silicatos; Perturbação da fauna. |
| Desmonte/ Detonação | Geração de ruídos e vibrações no terreno; Emissão de gases tóxicos e partículas sólidas; Perturbação da fauna; Alteração geomorfológica; Interferência no processo de escoamento de águas superficiais e subsuperficiais; Desmoronamentos de encostas; Danos à saúde do trabalhador pela exposição a ruídos, vibrações, liberação de gases tóxicos, como monóxido e carbono e o óxidos de nitrogênio e enxofre, resultantes da queima de explosivos e combustíveis fósseis. |

| Etapas | Impactos negativos (conclusão) |
|--------------------------------|--|
| Desmonte/ Detonação | Inviabilização do uso futuro do solo para outros fins, pela inexistência de projetos de recuperação da área degradada; |
| Transporte/ Comercialização | Poluição do ar decorrente da queima de combustíveis fósseis; |
| | Compactação e impermeabilização do solo; |
| Disposição dos Rejeitos | Atropelamento da fauna; |
| | Danos as estradas asfaltadas devido ao peso dos veículos carregados com as rochas. |
| | Transporte de sedimentos; |
| | Perda das características do solo fértil; |
| | Alteração paisagística; |
| | Carreamento de sólidos devido disposição inadequada das pilhas. |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

5.2 Caracterização do processo de beneficiamento do quartzito

Para a descrição do beneficiamento de quartzito em Várzea foram realizadas visitas em duas indústrias de grande porte do Município, a Pedras Itacolomy e a Prisma Quarts, e em outras empresas de pequeno porte. A produção mensal de quartzito em Várzea é de 25 mil metros quadrados (BABISK et al., 2012; RIBEIRO; BABISK, 2012).

Pelo menos 10 serrarias trabalham na parte de beneficiamento, cada uma beneficia em média 8.000 mil m² de rochas brutas por mês. Cada metro quadrado de quartzito beneficiado é comercializado em média a R\$ 30,00. As rochas coloridas são utilizadas na fabricação de mosaicos (rochas decorativas para revestimento de paredes), e a rocha branca, além de ser utilizada para a composição dos mosaicos, também é utilizada para fabricação de rochas para piso e revestimento.

5.2.1 Beneficiamento da rocha

À medida que os caminhões vão chegando da Serra do Poção e de outras regiões que tenham mais variedades de cores de quartzito, os produtos são descarregados e separados por tipo, laje ou cavaco, e em cores. Como no Município só existem duas variedades de cores de quartzito – a branca e a preta, as empresas adquirem do município de Junco do Seridó (PB), as rochas nas cores verde, grafite, rosa e ouro sol (amarela) e em Nova Olinda (PE) a rocha amarela cariri.

Se a rocha apresentar espessura superior à que a serra suporta cortar, realiza-se a abertura da mesma utilizando-se de uma cunha. A laje é esquadrejada para a fabricação de pisos e lajes de casas, por apresentar dureza elevada e ser altamente resistente. O cavaco é utilizado para a fabricação de peças, como mosaicos (Figura 5.8), para a parte de revestimento interno e decoração.

Figura 5.8 - Mosaicos produzidos pelas empresas de beneficiamento



Fonte: Foto da autora, Várzea (PB), 2014.

5.2.1.1 Processo de beneficiamento de quartzito para o revestimento de piso

Os produtos gerados podem ser provenientes da rocha bruta ou da rocha trabalhada tipo cerâmica. No primeiro, a rocha é apenas aberta para se diminuir a sua espessura e é comercializada no formato na qual e se encontra. Já na rocha tipo cerâmica, ela é aberta utilizando-se de uma cunha para depois ser processado seu esquadrejamento, sendo que o seu tamanho é sempre superior a 10 cm², pois tamanhos inferiores acarretam na ruptura da mesma.

O processo de esquadrejamento, ou seja, a serragem da rocha é realizada por um método de serragem conhecido por talha-bloco. Este método utiliza máquinas de motores elétricos que tracionam um disco de ferro com pontas diamantadas. Existem três tipos de talha-blocos: monodisco, que consiste em um disco simples como lâmina, utilizado em cortes de grandes diâmetros; mono eixo/multidiscos, onde há um único eixo no qual são acoplados vários discos que podem ou não ser de mesmo tamanho; multi eixo/multidiscos, onde são utilizados inúmeros eixos com discos posicionados em linha, de tamanho crescente para intensificar o corte e proporcionar melhor trabalhabilidade.

A serragem da rocha é realizada usando constantemente um fluido composto de água, cal e granalha de aço (é um tipo de partículas de aço usadas como meio abrasivo), que serve para resfriamento das lâminas e maior precisão do corte. A água

utilizada nesta etapa provém de poços de águas salobras localizadas dentro das fábricas. A água utilizada é decantada em tanques para este fim e depois retorna ao processo. Esse ciclo é quebrado quando essa água é considerada imprópria pelos operadores das máquinas de serragem, desta forma é descartada em valas de infiltração assim que passa pelo tanque de decantação.

Os resíduos que ficam retidos no fundo do tanque são vendidos para fabricação de argamassa. Depois de serrada, a rocha é retirada do setor de serragem manualmente através de carro de mão e transportada para outro galpão onde os funcionários fazem o acabamento com marretas e cunhas, dando acabamento bem rústico e artesanal ao produto. Em seguida, são estocadas em pilhas para posterior transporte (Figura 5.9).

Figura 5.9 - Máquina, tanque de decantação e vala de infiltração utilizados no processo de beneficiamento da rocha



Legenda

A - Máquina com serras diamantadas utilizada para abertura da rocha
B - Tanque de decantação

C - Vala de infiltração
D - Pátio de estocagem das rochas para piso

Fonte: Fotos da autora, 2014.

5.2.1.2 Processo de beneficiamento de quartzito para a composição de mosaicos

A fabricação do mosaico leva mais tempo por ser mais complexo. O cavaco é esquadrejado de acordo com a linha de produtos que se deseja fabricar, a maioria das

indústrias fabricam três linhas: quadrante, aliança e palito. Depois do esquadrejamento, as peças são levadas para um setor onde são abertas simetricamente para a diminuição da espessura. Para este processo são utilizados dois tipos de máquina para esse processo: a guilhotina e a prensa.

A execução do trabalho envolve muitos perigos, requerendo muita técnica e controle dos funcionários, haja vista que os dedos dos mesmos ficam muito próximos da navalha que corta a rocha. Depois de ser cortada no formato desejado, elas são depositadas em caixotes e transportadas para o setor de encaixe.

No setor de encaixe, trabalho realizado exclusivamente por mulheres, as rochas são colocadas em formas, com espaços determinados como um quebra cabeça. O processo configura-se muito cansativo, uma vez que as operarias realizam o trabalho o tempo todo em pé, com movimentos repetitivos. Depois de encaixadas as rochas nas formas, elas são limpas para se realizar a colagem. Após esse processo, sobre o conjunto é colocada a cola (Norfix) com o auxílio de rolinhos, depois a tela composta de fibra de vidro e mais uma camada de cola. Em seguida, as formas são acondicionadas em uma estufa para a secagem, que atinge uma temperatura superior 150°C.

Posteriormente, é realizado o teste de qualidade para saber se a cola fixou as rochas completamente, caso ainda haja partes soltas, os encaixes são refeitos. Ao final do processo, a peça de mosaico é desfrisada, ou seja, retirada da forma e deixada imóvel por doze horas para ser embalada, etiquetada com o nome do modelo, a cor da rocha e o tamanho.

5.2.1.3 Os resíduos

Uma parte dos resíduos gerados durante as etapas de beneficiamento são as aparas e a lama dos tanques de decantação, oriundos dos processos de serragem das rochas. Elas são utilizados como matéria-prima para a produção de argamassas colantes, pré-moldados, areia artificial e britas para a construção civil.

O trabalho de reaproveitamento dos resíduos é realizado através da microempresa Tecquímica em parceria com o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. A usina piloto de beneficiamento dos resíduos de quartzito (Figura 5.10), coordenados pelo Engenheiro João Bosco, conquistou o primeiro lugar na premiação

das melhores práticas em aproveitamento de resíduos da indústria mineral no ano de 2009 no VI Encontro da Rede APL Mineral, que aconteceu em Salvador (BA).

Figura 5.10 - Usina piloto de beneficiamento dos resíduos de quartzito



Fonte: Foto da autora, Várzea (PB), 2014.

5.3 Resultado da Avaliação de Risco

5.3.1 Resultado da FMEA

A avaliação ocorreu após a coleta e tratamento dos dados obtidos durante as investigações na área de exploração que ocorreram no período janeiro a dezembro de 2014 e na avaliação da revisão de literatura. A reunião contou com a presença de 5 (cinco) especialistas em exploração de minérios, sendo um Engenheiro Ambiental e Sanitarista, dois técnicos em Mineração e dois blásters. A equipe apresentou tal composição por conhecer tecnicamente o sistema produtivo.

As falhas, perigos, foram definidos baseando-se na apreciação de cada etapa da exploração realizada na Serra do Poção, nas características fisiográficas da região e também através da revisão de literatura. Sendo assim, os perigos listados foram: remoção do solo; desmatamento; ausência de EPIs; emissão de poeira, gases e limalhas; uso de explosivos; vibrações; ruídos; movimentos repetitivos; movimento de massa; uso de guincho precário; tombamento de veículo transportador; estéreis e resíduos; e a informalidade da exploração de quartzito.

Para cada perigo foram listados as suas causas, seus efeitos e medidas mitigadoras e definidos se ele é um tipo de perigo real ou potencial.

Após o preenchimento preliminar dos formulários, os mesmos foram entregues juntamente com a tabela de escore para cada integrante da equipe avaliadora. Desta forma, procedeu-se o preenchimento do formulário, baseando-se na tabela de escores, discutindo-se cada perigo, as causas, os efeitos e a mitigação dos mesmos, até que todos convergissem para o mesmo valor definitivo. A seguir são apresentados os resultados para cada perigo listado.

5.3.1.1 Resultado do Formulário FMEA

Para o perigo de remoção do solo, o escore de severidade foi 3, pois a ocorrência desse perigo causa danos significativos ao meio ambiente, com degradação e alteração irreversível da paisagem natural. A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, através de sua política internacional, considera que a degradação do solo é um problema grave para os sistemas sócioecológicos (UNCCD, 2011).

Por se tratar de uma operação diária, o escore de ocorrência para o perigo remoção de solo da não conformidade foi 3. Já o seu escore de detecção foi 1 porque pode ser percebida visualmente, sem a necessidade de utilização de técnicas. E o escore de abrangência foi 1 por atingir apenas o local da exploração. Pelo produto dos escores, resultou-se em um risco 9 para a remoção de solo (Tabela 5.4).

Com relação ao perigo do desmatamento foi averiguado que o bioma caatinga na região de exploração apresenta-se desmatada ou degradada (INPE, 2012). E que essa região contém duas espécies ameaçadas de extinção: a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a baraúna (*Melanoxylon braúna*) (BRASIL, 2008). De acordo com o art. 26 da Lei nº 12.651, “a supressão de vegetação que abrigue espécie da flora ou da fauna ameaçada de extinção dependerá da adoção de medidas compensatórias e mitigadoras que assegurem a conservação da espécie” (BRASIL, 2012), tais medidas não são cumpridas na região de exploração, o que contribui para agravar ainda mais o processo de supressão da vegetação. Logo, para o perigo o escore de severidade foi considerado pela equipe avaliadora como sendo 3, o mais alto.

Tabela 5.4 - Formulário FMEA preenchido (remoção de solo, desmatamento e ausência de EPIs)

| Perigo | Tipo | Efeito | Causa | S | O | D | A | R |
|-------------------|---|--|--|---|---|---|---|----|
| Remoção do solo | R | Assoreamento das áreas e/ou de drenagens adjacentes às minerações; Interferência no fluxo das águas de superfícies; Poluição visual e paisagística (topografia e relevo modificados); Desmatamento, com perda de solo vegetal. | Manipulação inadequada durante a remoção do solo, sem a aplicação de técnicas estratégicas e participativas voltadas para o gerenciamento ambiental durante as operações na lavra; abertura de estradas. | 3 | 3 | 1 | 1 | 9 |
| Desmatamento | R | Alteração paisagística; Aumento do escoamento superficial; Erosão e empobrecimento do solo; Desertificação; Perda de biodiversidade; Escassez de água. | Remoção inadequada da vegetação, sem seguir as normas estabelecidas pelos órgãos fiscalizadores; E sem a adoção de técnicas de reflorestamento. | 3 | 2 | 1 | 2 | 12 |
| Ausência de EPI'S | R | Corte, corte por cisalhamento, golpe ou decepamento, esmagamento de membros; Doenças respiratórias; Mortes. | Elementos de proteção em falta, inadequados ou danificados; Negligência, imperícia ou imprudência dos trabalhadores e falta de condições operacionais adequadas. | 3 | 3 | 1 | 1 | 9 |
| Perigo | Medidas Mitigadoras | | | | | | | |
| Remoção do solo | Capacitar tecnicamente os garimpeiros; Implementar e monitorar o Plano de recuperação de áreas degradadas – PRAD; Melhoria nas condições de remoção do solo; Implantação de sistemas de drenagem pluvial e de contenção de sedimentos; Acondicionamento com conformação adequada do estéril. | | | | | | | |
| Desmatamento | Implementar, manter e aprimorar um sistema de gestão ambiental; Elaborar um plano de salvamento da fauna; Conscientização e educação ambiental dos Funcionários; Aplicação de técnicas de reflorestamento seguindo procedimentos técnicos estabelecidos pelos órgãos regulamentadores, com vista a uma produção mais sustentável. | | | | | | | |
| Ausência de EPI'S | Estabelecimento de plano de gerenciamento de risco; Incentivo e capacitação dos garimpeiros sobre o a importância do uso de equipamentos individuais e coletivos; Manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos danificados e incentivo a aquisição de novos. | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Quanto à ocorrência para o perigo desmatamento, o escore foi 2, pois a periodicidade da supressão da vegetação no local é mensal para a abertura de lavra e estradas. Já o escore para a detecção foi 1, pois é possível visualizar a olho nu a ocorrência do perigo. Para a abrangência, o escore adotado foi 2, pois a supressão da vegetação se expande além da zona de exploração, principalmente para a abertura de estradas. O produto dos escores resultou em um risco 12 (Tabela 5.4).

De acordo com a NR 6 (BRASIL, 1978b, p. 1), o EPI “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.” Logo, ao perigo ausência de EPIs atribui-se um escore de severidade 3, pois os efeitos para o trabalhador são elevados, podendo ser determinantes para ocasionar malefícios a sua saúde ou até mesmo a sua morte. Com relação à ocorrência, o escore atribuído foi 3 para o perigo Ausência de EPIs, justificado pela periodicidade da jornada de trabalho que é diária. Já para a detecção, o escore foi 1, considerando que é de simples verificação da não conformidade. O escore de abrangência também foi 1, pois o perigo se manifesta apenas na área da exploração. O risco total para a ausência de EPIs foi estimado como de 9 (Tabela 5.4).

As operações na área de mineração do quartzito envolvem muita emissão de poeiras, principalmente, nas operações de detonação e perfuração da rocha, que é realizada a seco. O quartzito branco e preto, explorados na Serra do Poção, apresentam altos percentuais de sílica (SiO_2), 70,73% e 44,32%, respectivamente, em sua composição química (VIERA, SOUZA, GONZAGA, 2012). Considerando estes fatores, é possível averiguar que a exposição e a inalação diária de compostos tão ricos em sílica podem causar danos à saúde dos trabalhadores ao longo dos anos de exposição, especialmente, doenças respiratórias com a silicose (MANNETJE *et al*, 2002). Por isso, para o perigo de emissões de poeiras, gases e limalhas (EPGL), o escore de severidade escolhido pela equipe foi 3 (Tabela 5.5).

Já para a ocorrência, o escore atribuído para a EPGL foi 3, visto que a emissões de poeira é diária. Para a detecção, o escore foi 2, pois para identificar as causas dos danos ao meio ambiente, como aos trabalhadores, devem ser adotados técnicas e teste laboratoriais. Já o escore da abrangência foi dado 3, uma vez que, as poeiras emanadas podem ultrapassar os limites da área de exploração e atingir as áreas circunvizinhas. Pelo produto dos escores, resultou-se em um risco 54 (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Formulário FMEA preenchido (EPGL e uso de explosivos)

| Perigo | Tipo | Efeito | Causa | S | O | D | A | R |
|---------------------------------------|--|--|--|---|---|---|---|----|
| Emissões de poeiras, gases e limalhas | R | Desconforto ambiental; Poluição do ar; Afeta o sistema respiratório dos trabalhadores causando doenças como a silicose; Afeta o sistema respiratório e fotossintético da flora; Gera desconforto ambiental. | Utilização de equipamentos de perfuração a seco, limpeza do furo com o uso de ar comprimido e ejeção de material constituinte do tampão e de micro fragmentos durante a detonação; Ventilação deficiente ou excessiva; Liberação de gases da queima de combustíveis e explosivos; Desgastes de equipamentos. | 3 | 3 | 2 | 3 | 54 |
| Uso de explosivos | P | Explosão; Lesões e mortes nos trabalhadores e os animais; Ultralançamento de fragmentos; Geração e propagação de ondas sísmicas no terreno e no ar (vibração e sobrepressão atmosférica); Radiação térmica; Escorregamentos de taludes dentro e/ou fora do setor de desmonte; Poluição sonora; Lixiviação de elementos químicos para a água subterrânea; Perturbação da fauna. | Ausência ou mau planejamento no plano de fogo; Dissipação da fração de energia liberada pelo explosivo na detonação que não é transformada em trabalho útil; Ausência de estudos geológicos. | 3 | 2 | 2 | 3 | 36 |
| Perigo | Medidas Mitigadoras | | | | | | | |
| Emissões de poeiras, gases e limalhas | Utilização de EPIs pelos trabalhadores; Uso de equipamentos dotados de coletores de pó ou a realização de perfuração a úmido; Detonação em condições atmosféricas que facilitem a dispersão da poeira; Umectação regular de praças e vias de acesso; Tamponamento adequado dos furos com a carga explosiva; Adoção de plano de monitoramento da qualidade do ar; Manutenção preventiva e corretiva dos veículos e equipamentos. | | | | | | | |
| Uso de explosivos | Coordenação de técnico legalmente habilitado e capacitado; Seguir as normas regulamentadoras acerca do depósito, manuseio e transporte de explosivos; Bom conhecimento geológico-estrutural da jazida e da área de exploração; Uso de sirenes de aviso, com a finalidade de antecipar o efeito psicológico da supressa causada pela explosão; Implantação de sinalização e obstáculos para preservar o local de detonação; Instalação de barreiras física para minimizar os efeitos gerados; Dimensionamento e execução corretos das cargas explosivas e dos parâmetros do plano de fogo (perfuração, carregamento, tampão adequado, limpeza da face, tempos de retardo entre linhas ou furos); Adequação do plano de fogo às rochas com anomalias geológicas; Inspeção das condições do maciço remanescente. Verificação das condições meteorológicas existentes; Implementação de um sistema de proteção contra incêndios e explosões. | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

O uso de explosivos foi outro perigo considerado para compor o formulário FMEA, principalmente, por tal procedimento apresentar histórico de acidentes graves (MANCA, 2013). A NR 16 define que são consideradas atividades ou operações perigosas o armazenamento, transporte, operação de carregamento, detonação, verificação de denotações falhadas, no manuseio de explosivos (BRASIL, 1978d). Logo, considerando o que foi exposto anteriormente e os efeitos decorrentes do uso de explosivos, o escore de severidade escolhido pela equipe foi 3.

O escore para a ocorrência foi valorado com 2, pois as detonações ocorrem mensalmente. Já o escore para a detecção foi considerada como 2, pois alguns efeitos são imperceptíveis sem o auxílio de equipamentos adequados. Para a abrangência o escore dado foi 3, visto que, os efeitos das detonações ultrapassam os limites da área de exploração dos quartzitos. O produto dos escores resultou em um risco 36 (Tabela 5.5).

As vibrações são geradas a partir da detonação de explosivos e também da manipulação de equipamentos como o martelo pneumático. Considerando a revisão de literatura, as avaliações das práticas adotadas na atividade extrativista, e as discussões na reunião FMEA, o escore representativo da severidade do perigo vibrações foi 3. Já para a ocorrência, o escore escolhido foi 2, considerando que as operações com equipamentos que emitem vibrações, martelos pneumáticos, e as vibrações decorrentes das detonações nas operações de desmonte de rochas serem mensais.

Com relação a detecção, o escore adotado para o perigo vibrações foi 2, pois são necessárias a adoção de técnicas, avaliações específicas para mensurar os efeitos da não conformidade. O escore de abrangência foi 3, pois as consequências da não conformidade podem extrapolar os limites da área de exploração. Pelo produto dos escores, resultou-se em um risco 36 (Tabela 5.6).

De acordo com a NR 15 que trata das atividades e operações insalubres (BRASIL, 1978c, p. 2), “os trabalhadores deverão se expor a no máximo 85 dB em 8 horas de jornada laboral.” O martelo pneumático tem em média um nível de ruído de 110 dB, o que de acordo com a norma supracitada, o tempo máximo de exposição diária deveria ser de 15 minutos.

Tabela 5.6 - Formulário FMEA preenchido (Vibrações, ruídos e movimentos repetitivos)

| Perigo | Tipo | Efeito | Causa | S | O | D | A | R |
|--------------------------------------|--|--|---|---|---|---|---|----|
| Vibrações (equipamentos e operações) | P | A propagação das vibrações pode provocar trincas em construções próximas as áreas de exploração; Danos ao patrimônio físico da cidade de Várzea, visto que a cidade está localizada a menos de 5km da área de exploração; Danos à saúde do trabalhador; | Dissipação pelo uso do martelo pneumático; Dissipação da fração de energia liberada pelo explosivo na detonação que não é transformada em trabalho útil. | 3 | 2 | 2 | 3 | 36 |
| Ruídos | R | Danos ao sistema auditivo (mudança temporária do limiar de audição; surdez permanente; trauma acústico) dos trabalhadores e da população circunvizinha; Alteração no rendimento do trabalho (fadiga, falta de atenção, trazendo prejuízos para qualidade do produto e desperdício de tempo e material); Afugento da fauna local. | Movimentação de máquinas e equipamentos; Operações na área de exploração (perfuração, detonações, lapidação, Transporte e disposição do estéril, trepidações excessivas. | 2 | 3 | 2 | 3 | 36 |
| Movimentos repetitivos | R | Desenvolvimento de doenças como LER e DORT; Danos as articulações pelo uso repetitivo de operações; Perda temporária, parcial ou permanente da capacidade de realizar movimentos. | Tarefas manuais repetitivas; Manutenção deficiente ou inexistente de ferramentas e máquinas, necessitando de esforço adicional; Sobrecarga de um grupo muscular particular, devido ao uso repetitivo ou pela manutenção de posturas contraídas. | 2 | 3 | 2 | 1 | 12 |
| Perigo | Medidas Mitigadoras | | | | | | | |
| Vibrações (equipamentos e operações) | Equipamentos de proteção individuais adequados e suplementares; Plano de monitoramento de vibrações; Programas de manutenção para sistemas e equipamentos; Limitação do tempo de exposição; Execução criteriosa técnica de planos de fogo adequadamente dimensionados; Informação do correto uso das máquinas de vibração para os trabalhadores. | | | | | | | |
| Ruídos | Uso de equipamentos de proteção Individual – EPIs; Plano de monitoramento de ruídos; Utilização de procedimentos técnicos que visem minimizar a emissão de ruídos, com a adoção de plano de desmonte controlado, otimização do plano de fogo e evitar a utilização do cordel detonante; Manutenção preventiva e corretiva dos veículos e equipamentos. | | | | | | | |
| Movimentos repetitivos | Instruir os trabalhadores em relação às posturas a serem adotadas; Uso de martelo pneumático com dispositivo adequado para firmar a haste e vedar a utilização exclusiva das mãos; Estabelecer parâmetros que permitir o trabalhador adaptar suas condições psicofisiológicas a sua função, de modo a proporcionar segurança e desempenho eficiente. | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

A norma NR 15 esclarece ainda que “as atividades ou operações que exponham os trabalhadores a níveis de ruído, contínuo ou intermitente, superiores a 115 dB(A), sem proteção adequada, oferecerão risco grave e iminente.” (BRASIL, 1978c, p. 3). Fato esse evidenciado por Schrage (2005), que concluiu em seus estudos que a exposição a níveis elevados sem devida proteção pode causar perdas auditivas irreversíveis aos trabalhadores.

De acordo com Sousa et al. (2002), o tempo necessário para efetuar um furo de 2,5 m de comprimento e uma polegada de diâmetro com um martelo pneumático é em média 40 minutos na Serra do Poço. Com isso, a exposição de um trabalhador a ruído contínuo ou intermitente como esse induz a alterações estruturais no ouvido interno, que determinam a ocorrência da Perda Auditiva Induzida por Ruído (Pair).

Desta forma, se embasando na legislação, e nos trabalhos realizados por Sousa et al. (2002) e Schrage (2005), e as condições operacionais desenvolvidas na área de estudo, a equipe considerou o escore de severidade 2 para o perigo ‘ruídos’. Para a ocorrência o escore foi 3, uma vez que, a não conformidade acontece diariamente, decorrente do trânsito de carros, do corte e perfuração de rochas, do uso de guincho, das operações de lapidação, entre outras.

Para a detecção do perigo ruídos, o escore adotado foi 2, uma vez que é necessário o uso de equipamentos (decibelímetros) para realizar a medição dos níveis de pressão sonora, e, conseqüentemente, intensidade de sons na área de exploração e nas áreas circunvizinhas. Para a abrangência, o escore foi 3 por considerar que a não conformidade extrapola os limites do local da exploração. Pelo produto dos escores, resultou-se em um risco 36 (Tabela 5.6).

O perigo movimentos repetitivos foi também considerado para compor o formulário FMEA, pois foi observado que tais movimentos são frequentes no desenvolvimento das atividades laborais na área em estudo. Tais movimentos podem ocasionar nos trabalhadores doenças como a Lesão por Esforço Repetitivo (LER) e os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT). Elas são doenças caracterizadas pelo desgaste de estruturas do sistema músculo-esquelético, e decorrem do uso repetido ou forçado de grupos musculares e da manutenção de postura inadequada. Esta patologia é reconhecida pela legislação brasileira, e já é considerada uma epidemia (SUS, 2011).

Com relação ao perigo movimentos repetitivos, o escore para caracterizar a severidade foi 2, uma vez que eles causam danos ao ser humano. Quanto à

ocorrência, o escore foi 3, devido ao fato dos trabalhadores estarem sujeitos diariamente a execução de trabalhos que ocasionam tal perigo. Em relação à detecção, o escore escolhido para caracterizá-la foi 2, visto que são necessários exames clínicos para identificar as lesões. Para a abrangência, o escore adotado foi 1, pois o perigo só é efetivado no ambiente de trabalho. O produto dos escores resultou em um risco 12 (Tabela 5.6).

Para o perigo de movimento de massa, o escore de severidade foi 3, pois as avaliações evidenciaram que o seu desencadeamento podem ocasionar lesões, decapitações ou até mesmo a morte do garimpeiro. A grande incidência do perigo está relacionada ao caráter artesanal da exploração, que na maioria dos casos não tem planejamento adequado de lavra. Também, constatou-se que a maioria das minas apresentavam encostas com inclinações negativas, um dos agravantes para a sua ocorrência. A equipe pode averiguar que semanalmente ocorre deslizamentos de encostas na exploração de quartzito na Serra do Poção, por isso, o escore de ocorrência da não conformidade foi 2.

O escore de detecção para o perigo movimento de massa foi 2 porque os mineiros tem uma certa dificuldade em detectar a não conformidade, aumentando a incidência de acidentes fatais. Já o escore de abrangência foi 1 por atingir apenas o local da exploração. Pelo produto dos escores, resultou-se em um risco 12 (Tabela 5.7).

O uso de guincho precário foi outro perigo observado durante a pesquisa em campo. Ele apresenta formatação artesanal e é utilizado para o transporte de pessoas, dos produtos lavrados, resíduos e estéreis. O escore de severidade foi considerado com 3, por ser um processo arriscado e que podem causar danos irreversíveis aos trabalhadores ou provocar a sua morte. Já o escore de ocorrência do perigo uso de guincho precário foi considerado 3, tendo em vista que a periodicidade de exposição a tal perigo é diária. Com relação à detecção, o escore foi considerado 1, pois a ocorrência da não conformidade pode ser percebida visualmente. A abrangência obteve escore 1, os efeitos gerados pela não conformidade são restritos apenas ao local da exploração. O produto dos escores resultou um risco 9 (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Formulário FMEA preenchido (Movimento de massa e uso de guincho precário)

| Perigo | Tipo | Efeito | Causa | S | O | D | A | R |
|-------------------------|---|---|--|---|---|---|---|----|
| Movimento de massa | R | Dificuldades de operação; Mortes ou esmagamentos e decapitações de membros dos trabalhadores. | Vibrações no terreno decorrente das detonações e do tráfego de veículos; Infiltrações de água no solo; Danos a maciço remanescente; Excesso de declividade; Execução inadequada do plano de fogo, entre outros | 3 | 2 | 2 | 1 | 12 |
| Uso de guincho precário | R | Mortes ou esmagamentos e decapitações de membros dos trabalhadores, decorrente do excesso de peso, do rompimento dos cabos de aço; Correias de aço desgastadas e enferrujadas; uso inadequado de pneus para meio de transporte. | Ausência de recursos para compra de guincho adequado; Ausência de condições operacionais adequadas; Negligência, imperícia e imprudência. | 3 | 3 | 1 | 1 | 9 |
| Perigo | Medidas Mitigadoras | | | | | | | |
| Movimento de massa | Presença de técnico habilitado nas operações; Área de trabalho limpa, devendo ser retirados ou escorados solidamente árvores, rochas e objetos de qualquer natureza, quando houver risco de comprometimento de sua estabilidade durante a execução de serviços; Execução de medidas preventivas para se evitar erosão e encharcamento de solo. | | | | | | | |
| Uso de guincho precário | Substituição dos cabos de aços antigos por novos; Substituição das tinas por equipamento de transporte adequado seguindo as normas de segurança; Apresentar no aparelho indicação de carga máxima permitida, da velocidade máxima de operação e dispositivos que garantam sua paralisação em caso de ultrapassagem destes índices; Sistema de frenagem de segurança e aquisição de gaiolas para transporte de pessoas; Adoção de meio de suporte adequado e seguro para fixação do guincho. | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Para o perigo ‘tombamento do veículo transportador’, o escore de severidade foi considerado como sendo 3, considerando que os efeitos da ocorrência resultam em lesões gravíssimas ou a morte dos trabalhadores envolvidos no transporte. Quanto à ocorrência, o escore foi 1, já que a probabilidade de ocorrência é mensal. Em relação à detecção, o escore escolhido para caracterizá-la foi 2, visto que são necessários avaliações técnicas para se comprovar as causas da não conformidade. Para a abrangência, o escore adotado foi 3, uma vez que o transporte das rochas extrapola os limites da zona de exploração de quartzito. Como produto dos escores resultou-se em um risco 18 (Tabela 5.8).

Com relação aos rejeitos e estéreis gerados, o escore de severidade foi considerado como sendo 2, considerando que seus efeitos são prejudiciais ao meio ambiente, pois descaracterizam o relevo, provocam assoreamento dos rios, além de emanar poeiras ricas em sílica, mas eles podem ser revertidos com a adoção de técnicas sustentáveis, tratamento e disposição adequada. Quanto à ocorrência, o escore foi 3, pois a periodicidade da geração de resíduos é diária. Já o escore para a detecção foi 1, pois é possível visualizar a olho nu a ocorrência do perigo. Para a abrangência, o escore adotado foi 3, pois os amontoados de rejeitos e estéreis ultrapassam os limites da exploração. O produto dos escores resultou em um risco 18 (Tabela 5.8).

Wünsch Filho (2004) considera que a informalidade contribui para aumentar o número de acidentes e doenças ocupacionais, especialmente em atividades com processos rudimentares, sem apoio e fiscalização adequados.

Em consonância ao exposto anteriormente e as discussões na reunião FMEA, com relação aos malefícios decorrentes da informalidade da atividade frente aos órgãos governamentais, e considerando que tal condição seja geradora dos principais perigos discutidos nesse trabalho, o escore de severidade foi de 3.

Em relação a ocorrência, o escore foi 3, já que a maioria das minas não são legalizadas. Referente a detecção, o escore foi 2, considerando que é necessário um estudo para relacionar os possíveis efeitos negativos a informalidade da atividade extrativista. O escore de abrangência também foi 3, pois o perigo se manifesta além das fronteiras da atividade extrativista. (Tabela 5.9).

Tabela 5.8 - Formulário FMEA preenchido (Tombamento de veículo transportador, Estéreis e Resíduos)

| Perigo | Tipo | Efeito | Causa | S | O | D | A | R |
|-------------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|----|
| Tombamento do veículo transportador | R | Perdas de vidas e materiais; ou danos à saúde dos trabalhadores; Comprometimento das estradas; Vazamentos de óleos/combustíveis/graxas, com comprometimento do solo e das águas superficiais. | Falta de planejamento; Excesso de peso; Inexistência de sinalização ou instruções da estrada; Caminhões velhos ou sem manutenção constante; Falha no sistema de frenagem do caminhão (inexistência ou deficiência de sistemas de frenagem de emergência); Falha mecânica; Rompimento dos cabos de aço de sustentação; Estradas sinuosas ou íngremes; Falha no dimensionamento dos pesos; Excesso de peso; Falha humana. | 3 | 1 | 2 | 3 | 18 |
| Estéreis e resíduos | R | Poluição visual; Emissão de poeiras; Poluição atmosférica, do solo e da água; Assoreamento de córregos e rios; | Alta geração de estéreis e resíduos decorrente da exploração inadequada dos minérios; Ausência de reciclagem ou reaproveitamento dos rejeitos; Acomodação inadequada dos estéreis e dos resíduos; Plano de fogo mal executado ou ausente; Ausência de tratamento, reciclagem ou reaproveitamento dos resíduos e estéreis; Ausência ou má planejamento das operações. | 2 | 3 | 1 | 3 | 18 |
| Perigo | | Medidas Mitigadoras | | | | | | |
| Tombamento do veículo transportador | | Instalação de sinalização educativa e de segurança nos acessos as áreas de exploração; Revisão periódica dos caminhões de transporte das rochas datadas e documentadas; Planejamento na rotina de circulação de veículos e caminhões; Estabelecimento das normas estabelecidas para o transporte e segurança de cargas; Alargamento das estradas e melhorias em suas condições; Capacitar tecnicamente os motoristas e os garimpeiros. | | | | | | |
| Estéreis e resíduos | | Implementação e execução de um Plano de Gerenciamento de Resíduos e Estéreis; Aumento de empresas voltadas para o aproveitamento dos resíduos de quartzito, como a usina de fabricação de argamassa já instalada no Município; Acondicionamento adequado do estéreis e dos resíduos, com conformação adequada e compactação, de forma que os taludes possuam inclinação suficiente para evitar escorregamentos e carreamento do material depositado pelas águas superficiais; Adoção de técnicas de desmonte que vislumbrem a sustentabilidade. | | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Tabela 5.9 - Formulário FMEA preenchido (Informalidade da exploração de quartzito)

| Perigo | Tipo | Efeito | Causa | S | O | D | A | R |
|--|--|---|---|---|---|---|---|----|
| Informalidade da exploração de quartzito | R | Privação dos direitos trabalhistas; Alta geração de rejeitos e estéreis sem tratamento; Baixa escolaridade dos empregados; Ausência de treinamentos e capacitação técnica; Baixa remuneração dos empregados; Baixa produção e produtividade; Falta de qualidade dos bens produzidos; Elevado nível de perdas nas etapas de lavra; Ausência de tecnologias apropriadas; Ausência de métodos de lavra para o aproveitamento integral do minério; Fonte geradora de perigos. | Mineração em áreas não legalizadas; Falta de incentivos financeiros e baixa valorização da atividade extrativista; Ausência ou baixa capacitação dos garimpeiros. | 3 | 3 | 2 | 3 | 54 |
| Perigo | Medidas Mitigadoras | | | | | | | |
| Informalidade da exploração de quartzito | Regulamentação da atividade; Busca por investimentos e valorização da atividade extrativista; Ampliar e promover a capacitação tecnológica em lavra de beneficiamento de bens minerais em cooperativas/associações de produtores e/ou pequenas unidades produtivas comunitárias dentro das APLs; Inserção, difusão, transferência de tecnologia, inovação e modernização industrial; Inovação para sustentabilidade da mineração; Agregação de valor aos recursos minerais pela inovação de processo e produto; Dotar os pequenos empreendimentos mineiros de processos tecnológicos mais eficazes de exploração e beneficiamento, com ganhos de produtividade, minimização dos impactos ambientais e melhoria dos níveis de segurança e saúde; Definição de modelo de gestão por meio de estabelecimento de comitê gestor, grupo de trabalho temático e realização de planejamento estratégico. | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

5.3.2 Resultado da importância e classificação dos riscos

Aplicando o cálculo da soma ponderada mencionado na metodologia (ver seção 4.2.2.2), elaborou-se a Tabela 5.10, que demonstra a percentagem de influência do risco individual no risco total da atividade extrativista do Município. O Gráfico 5.1 traz uma melhor visualização dos resultados alcançados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total da exploração de quartzito

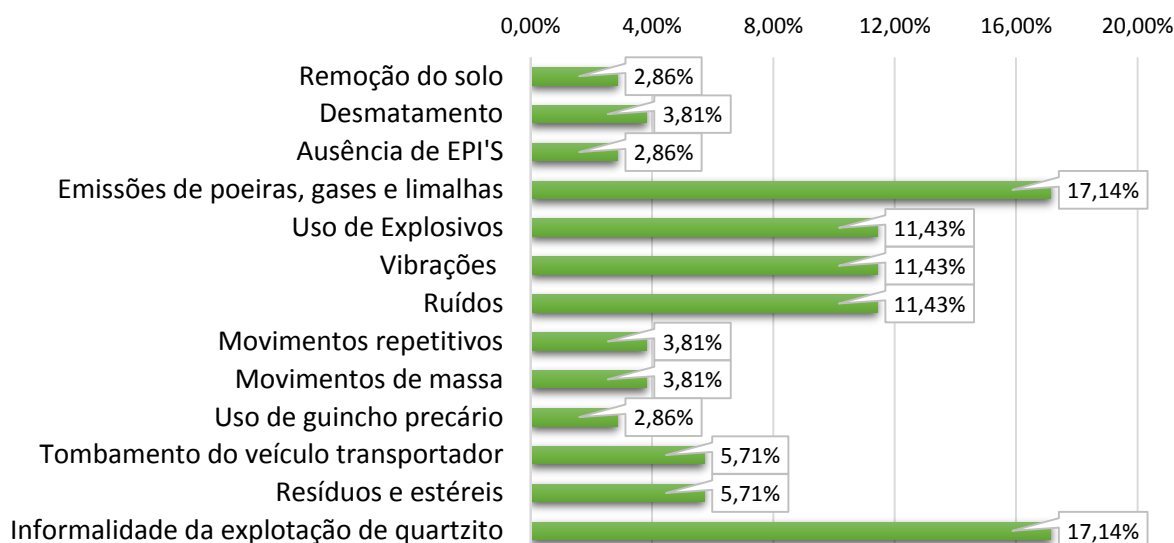
| Risco | Resultado dos escores | Cálculo | Porcentagem |
|--|-----------------------|-------------------|-------------|
| Remoção do solo | 9 | $9/315 = 0,0286$ | 2,86% |
| Desmatamento | 12 | $12/315 = 0,0381$ | 3,81% |
| Ausência de EPI'S | 9 | $9/315 = 0,0286$ | 2,86% |
| Emissões de poeiras, gases e limalhas | 54 | $54/315 = 0,1714$ | 17,14% |
| Uso de Explosivos | 36 | $36/315 = 0,1143$ | 11,43% |
| Vibrações | 36 | $36/315 = 0,1143$ | 11,43% |
| Ruídos | 36 | $36/315 = 0,1143$ | 11,43% |
| Movimentos repetitivos | 12 | $12/315 = 0,0381$ | 3,81% |
| Movimentos de massa | 12 | $12/315 = 0,0381$ | 3,81% |
| Uso de guincho precário | 9 | $9/315 = 0,0286$ | 2,86% |
| Tombamento do veículo transportador | 18 | $18/315 = 0,0571$ | 5,71% |
| Resíduos e estéreis | 18 | $18/315 = 0,0571$ | 5,71% |
| Informalidade da exploração de quartzito | 54 | $54/315 = 0,1714$ | 17,14% |
| Risco Total | 315 | $315/315 = 1$ | 100,00% |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Observa-se através do Gráfico 5.1 que os riscos das emissões de poeiras e da informalidade da exploração de quartzito são os mais influentes entre os listados, cada um contribuindo com 17,14% para o risco total.

Os ruídos, o uso de explosivos e as vibrações foram outros riscos que mereceram destaque na avaliação dos riscos, pois cada um contribui com 11,43% do risco total. Esperava-se pela equipe de especialistas que o uso de explosivos fosse um dos grandes destaques nesta avaliação, mas sua ocorrência é mensal, o que contribui para obter uma valoração inferior aos riscos das poeiras e da informalidade de exploração de quartzito.

Gráfico 5.1 - Percentagem dos riscos individuais considerando o risco total para a exploração de quartzito



Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Considerando o intervalo de risco proposto na Tabela 4.1 (ver seção 4.2.2.2) foi possível construir a Tabela 5.11. Nela, observa-se que a emissão poeiras, gases e limalhas foi o risco considerado alto. O uso de explosivos, as vibrações e os ruídos foram classificados como risco moderado. Os demais foram considerados baixo ou desprezíveis, considerando as faixas adotadas.

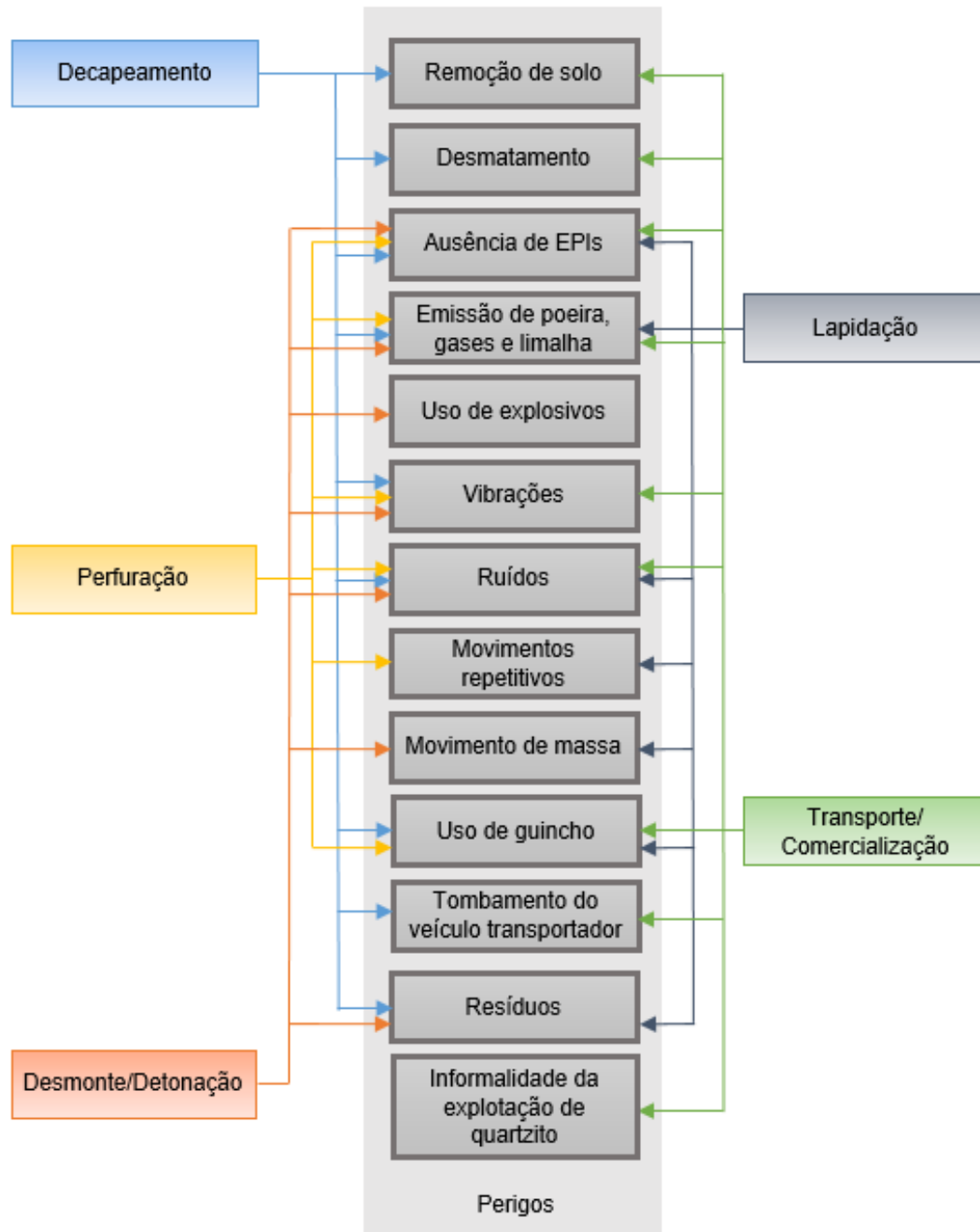
Tabela 5.11 - Classificação dos riscos da exploração de quartzito no município de Várzea (PB)

| Risco | Resultado dos escores | Classificação |
|--|-----------------------|---------------|
| Remoção do solo | 9 | Desprezível |
| Desmatamento | 12 | Desprezível |
| Ausência de EPI'S | 9 | Desprezível |
| Emissões de poeiras, gases e limalhas | 54 | Alto |
| Uso de Explosivos | 36 | Moderado |
| Vibrações | 36 | Moderado |
| Ruídos | 36 | Moderado |
| Movimentos repetitivos | 12 | Desprezível |
| Movimentos de massa | 12 | Desprezível |
| Uso de guincho precário | 9 | Desprezível |
| Tombamento do veículo transportador | 18 | Baixo |
| Resíduos e estéreis | 18 | Baixo |
| Informalidade da exploração de quartzito | 54 | Crítico |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

A Tabela 5.12 apresenta, pelo mesmo cálculo proposto na seção 4.2.2.2, a importância dos riscos baseando-se na Figura 5.11, que avalia a relação dos perigos listados com cada uma das etapas de exploração de quartzito.

Figura 5.11 - Correlação entre as etapas da exploração e os principais perigos



Fonte: Elaborado pela autora, 2014.

Baseando-se na Figura 5.11, realizou-se o cálculo do risco individual para cada uma das etapas da exploração (consideradas como risco total individual). Para isso, levou-se em consideração que apenas os escores de ocorrência mudariam de

uma etapa para outra. Por exemplo, o perigo ausência de EPIs está presente em todas as etapas da atividade extrativa na Serra do Poção, só que na etapa de perfuração a sua ocorrência seria mensal, escore 2, enquanto que na etapa de lapidação a sua ocorrência seria diária, escore 3. Através da Figura 5.11 é possível visualizar que cada um dos perigos pode estar associado a uma ou mais etapas durante a exploração do quartzito.

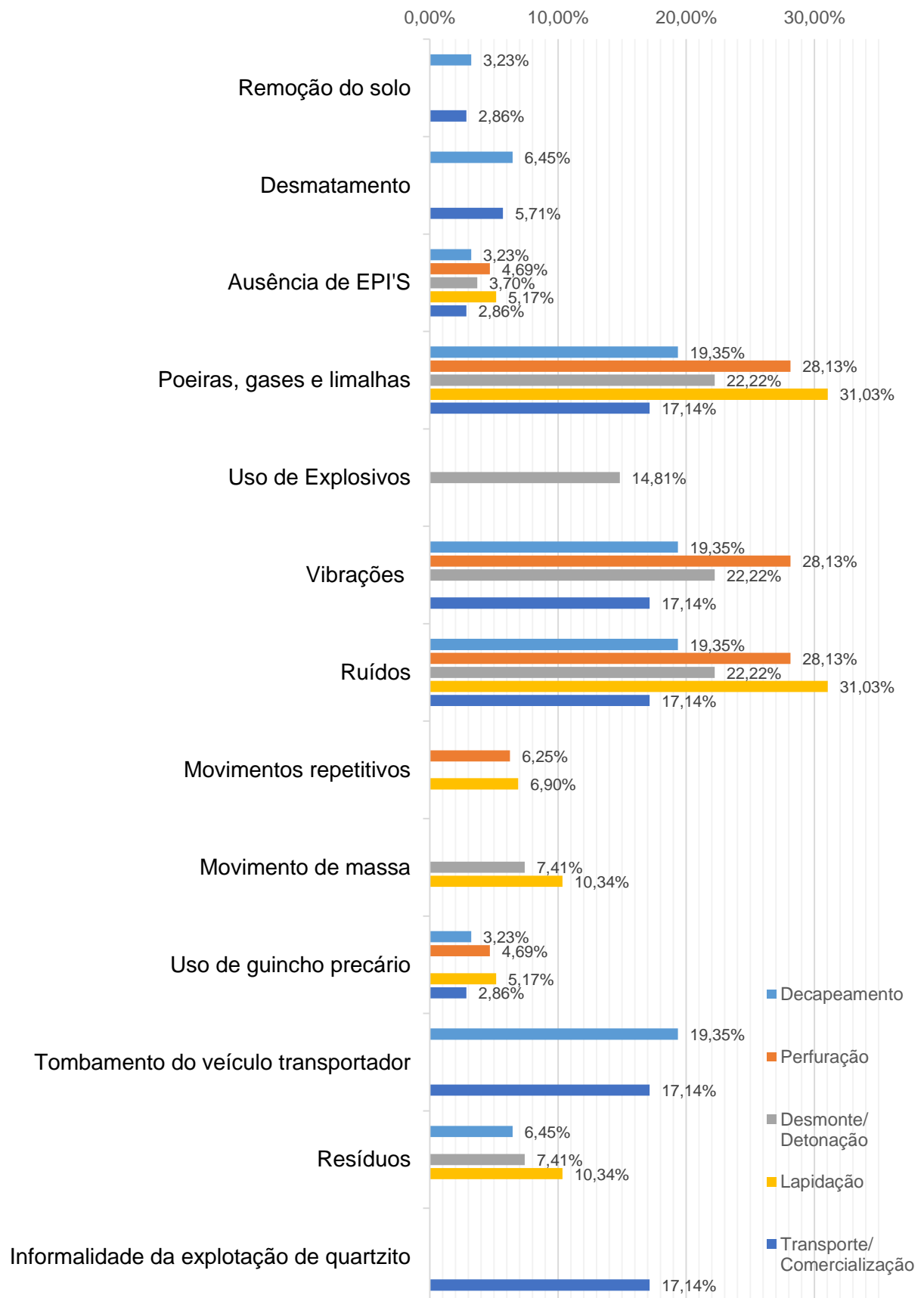
Por meio do Gráfico 5.2 é possível averiguar que o risco da ausência de EPI, dos ruídos e das emissões de poeiras são os mais frequentes nas etapas da exploração.

Tabela 5.12 - Percentagem dos perigos para cada etapa da exploração de quartzito

| Risco | Decapeamento | Perfuração | Desmonte | Lapidação | Transp. e com. |
|--------------------------------|--------------|------------|----------|-----------|----------------|
| Remoção do solo | 3,23% | | | | 2,86% |
| Desmatamento | 6,45% | | | | 5,71% |
| Ausência de EPI'S | 3,23% | 4,69% | 3,70% | 5,17% | 2,86% |
| Poeiras... | 19,35% | 28,13% | 22,22% | 31,03% | 17,14% |
| Ruídos | | | 14,81% | | |
| Uso de Explosivos | 19,35% | 28,13% | 22,22% | | 17,14% |
| Vibrações | 19,35% | 28,13% | 22,22% | 31,03% | 17,14% |
| Movimentos repetitivos | | 6,25% | | 6,90% | |
| Movimento de massa | | | 7,41% | 10,34% | |
| Uso de guincho precário | 3,23% | 4,69% | | 5,17% | 2,86% |
| Tombamento do veículo... | 19,35% | | | | 17,14% |
| Resíduos | 6,45% | | 7,41% | 10,34% | |
| Informalidade da exploração... | | | | | 17,14% |
| Total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Gráfico 5.2 - Porcentagem dos perigos para cada etapa da exploração de quartzito



Fonte: Elaborado pela autora, 2014.

5.6 Resultado da Análise de Árvores de falhas

No presente trabalho, as árvores de falhas de caráter qualitativo foram planejadas, construídas e discutidas baseando-se nas características do processo de exploração de quartzito no município de Várzea (PB). A análise quantitativa não foi realizada devido à insuficiência de dados fundamentais, como por exemplo, a frequência anual de mortes de mineiros por negligenciar o uso de EPIs.

Os acidentes fatais com trabalhadores foi considerado como o evento principal – evento topo. As possíveis causas que desencadeariam esses eventos foram obtidas baseando-se nos resultados dos formulários FMEA, nas investigações em campo e na revisão de literatura. Um total de 50 eventos intermediários foram alcançados da conexão com o evento principal através das portas lógicas ‘E’ e ‘OU’. Os ramos de cada árvore foram terminados por eventos básicos ou subdesenvolvidos, que totalizaram 85.

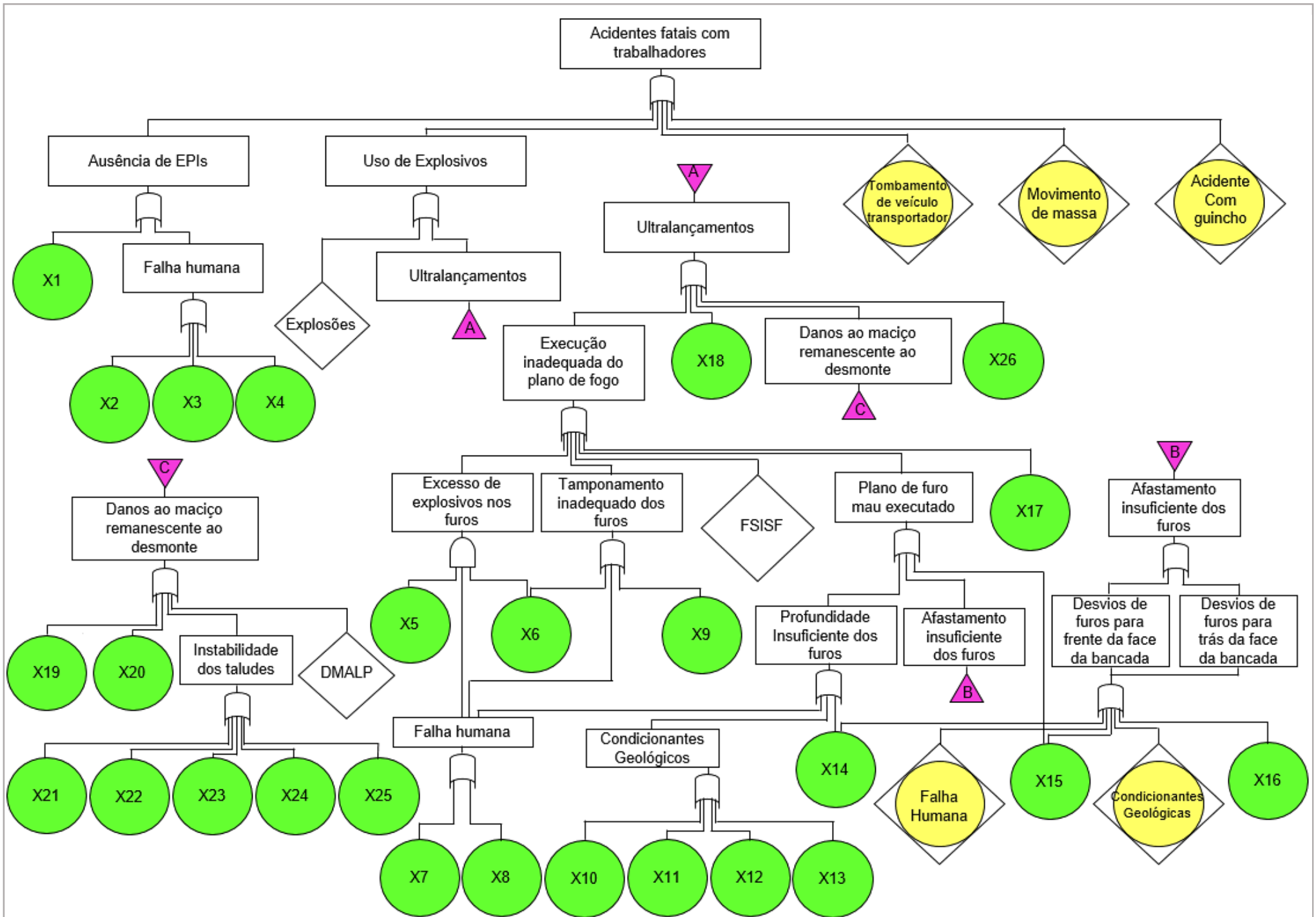
Para caracterizar os acidentes fatais com trabalhadores foram considerados os motivados pela ausência de EPI’s, uso de explosivos, tombamento de veículo transportador, os decorrentes do movimento de massa e do uso precário de guincho.

5.6.1 Árvore de falha para acidentes fatais: ausência de EPI’s

A ausência de EPI’s é considerada por muitos uma opção pessoal, pois uma das justificativas é que o uso dos equipamentos prejudica a sensibilidade sensório-motora, assumindo assim, uma postura negligente em relação ao seu trabalho. Fato que também foi evidenciado por Candia (2011) no seu estudo sobre acidentes fatais por quedas de rochas na mineração peruana. Ele ressalta que o uso EPI’s não evita a ocorrência de acidentes, porém pode minimizar suas consequências, como evitar a morte do trabalhador.

A ausência de conhecimentos básicos da profissão, a falta de qualificação técnica e o desconhecimento sobre os riscos que estão associados a seu trabalho são outros fatores que justificam a ausência dos equipamentos, caracterizando a prática de imperícia pelo garimpeiro. A imprudência é outro ato praticado por eles, principalmente, pelo excesso de confiança adquiridos ao longo dos anos da profissão (Figura 5.12).

Figura 5.12 - Árvore de falhas para acidentes fatais: ausência de EPI's e uso de explosivos



Legenda:

| | |
|-------|---|
| DMALP | Deslocamento do material além da última linha de perfuração |
| FSISF | Falha no sistema de iniciação e sequência de fogo |
| X1 | Equipamentos de proteção em falta, inadequados ou danificados |
| X2 | Negligência |
| X3 | Imperícia |
| X4 | Imprudência |
| X5 | Razão de carregamento de explosivo elevada |
| X6 | Tampões dos furos inferior ao comprimento de afastamento |
| X7 | Negligência |
| X8 | Imperícia |
| X9 | Falta ou escassez de material tamponante adequado |
| X10 | Rochas de diferentes durezas |
| X11 | Zonas de cisalhamentos |
| X12 | Presença de diferentes estratos |
| X13 | Presença de fraturas |

| | |
|-----|--|
| X14 | Equipamentos desgastados, insuficientes ou inadequados |
| X15 | Ausência de estudos geológicos |
| X16 | Diâmetro do furo pequeno |
| X17 | Ausência de plano de furos |
| X18 | Excesso de estéril no topo da bancada |
| X19 | Fragilização da face livre |
| X20 | Fragmentação das rochas |
| X21 | Faturas ou blocos desgarrados do corpo principal nas faces das bancadas e abertura de trincas no topo da bancada |
| X22 | Abertura de fraturas em rochas com eventual surgimento de água |
| X23 | Feições de subsidências superficiais |
| X24 | Estruturas em taludes negativos |
| X25 | Percolação de água através de planos de fratura ou quebras mecânicas |
| X26 | Ausência de plano de fogo |

Nota: As linhas da árvore não se cruzam.

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

Para Candia (2009), os eventos que ocasionam um acidente são acumulativos, pois foram ignorados ou interpretados erroneamente, sendo decorrentes de hábitos equivocados, de falsas expectativas, de comunicação deficiente, de procedimentos mal elaborados e de excesso de confiança. A ausência de EPI's se dá também pela falta, pela inadequação e por muitos equipamentos encontrarem-se danificados.

5.6.2 Árvore de falha para acidentes fatais: uso de explosivos

O uso de explosivos para a ruptura, escavação e deslocamento da massa rochosa são uma valiosa e econômica fonte de energia (KHANDELWAL; SIHGH, 2009), por isso é amplamente utilizado na atividade extrativista do município de Várzea (PB). Em relação a morte de trabalhadores decorrentes de seu uso, foram consideradas as decorrentes de incêndio ou explosão e as que ocorrem devido aos ultralançamentos. A ausência de um banco de dados para registro das mortes de trabalhadores e suas causas por explosão, a ausência de autorização para presenciar as detonações na área de estudo, e, a complexidade da sua análise, impossibilitaram avaliar as possíveis causas que desencadeariam esse evento.

Para uma melhor compreensão da complexidade do desenvolvimento da avaliação de risco de explosão, Wang, Zhang e Chen (2013) construíram uma árvore de falhas a partir da análise das causas de explosões de tanques de petróleo bruto, que foi considerado como evento topo. Eles partiram de apenas duas causas (fontes de ignição e o alcance de misturas vapor-ar explosivas) que formaram a 1ª linha de eventos intermediários, e que ocorriam simultaneamente para causar o evento topo. Já Markowski (2007) e Markowski et. al (2011) ponderam que para uma fonte ignição inflamar uma mistura explosiva, o sistema de controle de falhas de ambos os eventos intermediários tem que acontecer, o que não foi considerado por Wang, Zhang e Chen (2013). Dessa análise, eles obtiveram 43 eventos básicos, dada a sua complexidade.

Neste caso, a morte de trabalhadores por incêndio ou explosão foi caracterizada na árvore de falha como um evento subdesenvolvido (Figura 5.12), pois a literatura registra poucos artigos que discutem sobre as causas de explosões, principalmente, devido à natureza complexa dos fenômenos que a envolvem (MARKOWSKI, 2007).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma NBR 9653, define ultralançamento como o “arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação.” (ABNT, 2005, p.2). O ultralançamento de rocha é considerado a principal causa de danos materiais e ferimentos na mineração de superfície. A projeção de fragmentos para além de um limite especificado pode resultar em lesões humanas, mortes, e danos a estruturas civis (KHANDELWAL; MONJEZI, 2013).

Logo, o ultralançamento pode ocorrer a partir da carga de explosivos insuficiente, execução inadequada de um plano de fogo, decorrente do excesso de explosivos no furo, do tamponamento inadequado dos furos, da falha no sistema de iniciação e sequência de fogo (FSISF), de um plano de furo mau executado ou, simplesmente, de sua ausência (DALLORA, 2004; GHASEMI; SARI; ATAEI, 2012; KHANDELWAL; MONJEZI, 2013).

Em relação ao excesso de explosivos no furo, avaliou-se que ele é desencadeado pela ocorrência simultânea da: razão de carregamento elevada, de uso de tampões dos furos inferior ao comprimento de afastamento, (GHASEMI; SARI; ATAEI, 2012) e da falha humana (por negligência ou imperícia). A FSISF foi considerada na FTA (Figura 5.12) um evento subdesenvolvido devido a insuficiência de dados, e em função da complexidade de sua análise.

Um plano de furo mau executado é outra fonte de ultralançamento devido a profundidade e afastamento insuficientes dos furos, e também da ausência de estudos geológicos (GHASEMI; SARI; ATAEI, 2012). A primeira ocorre em função do uso de equipamentos desgastados, insuficientes ou inadequados; da presença de condicionantes geológicas no terreno (rochas de diferentes durezas, presença de fraturas, zonas de cisalhamento e diferentes estratos) (GHASEMI; SARI; ATAEI, 2012; KECOJEVIC; RÁDOMSKY, 2005); da falha humana (imperícia ou negligência).

Os desvios nos furos (tanto para frente quanto para trás da face da bancada) durante a perfuração podem ser motivados por diversos fatores, entre eles, o uso inadequado dos equipamentos de perfuração, as condicionantes geológicas do terreno, que podem contribuir para diminuir sensivelmente o afastamento projetado, o que pode acarretar em ultralançamentos (KECOJEVIC; RÁDOMSKY, 2005; KOPPE; COSTA, 2009). A falha humana e ausência de estudos geológicos também contribuem para esses desvios.

Kecojevic e Rádomy (2005) ponderam também que na mineração artesanal, a ausência de conhecimento e tecnologia precisas para identificar e reconhecer anomalias ou fraquezas nas rochas, por exemplo, que podem levar ao ultralanchamento, é considerado um problema comum nesse tipo de mineração. O excesso de estéril no topo da bancada também podem contribuir para ocorrer ultralanchamentos (GHASEMI; SARI; ATAEI, 2012).

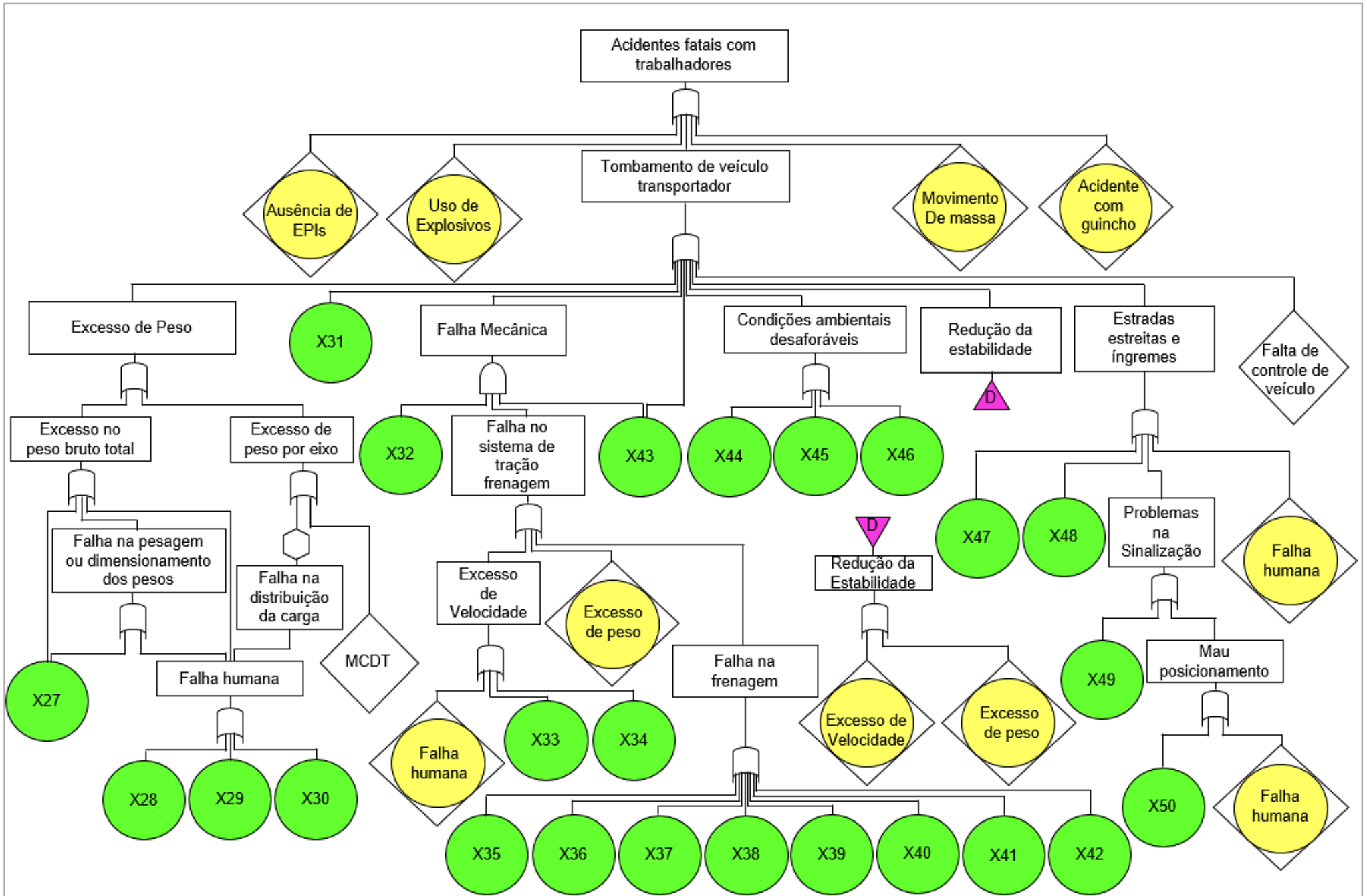
Os danos provenientes de outras explosões podem ter ocasionados danos ao maciço remanescente, como a fragilização da face livre, a fragmentação da rocha, a instabilidade de talude. De acordo com a NR 22 (BRASIL, 1978e), nas minas a céu aberto são consideradas as seguintes causas para a instabilidade do maciço rochoso: fraturas ou blocos desgarrados do corpo principal nas faces das bancadas, abertura de trincas no topo do bancada; abertura de fraturas em rochas com eventual surgimento de água; feições de subsidências superficiais; estruturas em taludes negativos e percolação de água através de planos de fratura ou quebras mecânicas.

5.6.3 Árvore de falha para acidentes fatais: tombamento de veículo transportador

Para a construção dos ramos relacionados ao tombamento de veículo transportador foram tomados como base os trabalhos realizados por Hong (2011), Zhang, Kecojevic e Komljenovic (2014) e nas observações realizadas nas área de estudo. Hong (2011) realizou um estudo sobre a aplicação de análise de risco ao descarrilamento de trem, utilizando como ferramentas os diagramas de causa e consequência, a análise de árvore de falhas e a análise FMEA. Já Zhang, Kecojevic e Komljenovic (2014) procuraram compreender melhor as causas de 12 acidentes envolvendo caminhões de mineração de carvão de superfície no oeste da Virgínia, EUA, entre os anos de 1995 e 2011. A FTA foi a técnica usada para analisar sistematicamente esses acidentes.

Considerou-se que o tombamento de veículo transportador pode ocorrer em função do excesso de peso, da falta de manutenção dos veículos, do excesso de velocidade, de falhas mecânicas, de condições ambientais desfavoráveis, redução da estabilidade, de estradas estreitas ou íngremes e a devido à falta de controle de veículo (Figura 5.13).

Figura 5.13 - Árvore de falha para acidentes fatais: tombamento de veículo transportador



Legenda:

- | | | | |
|------|--|-----|--|
| MCDT | Movimento da carga durante o seu transporte | X38 | Falha no sistema de segurança - freio de emergência |
| X27 | Falta de condições operacionais adequadas para execução da pesagem | X39 | Falha no cilindro de freio |
| X28 | Negligência | X40 | Pneus desgastados |
| X29 | Imperícia | X41 | Mecanismos de regulagem instalado errado ou danificado |
| X30 | Imprudência | X42 | Superaquecimento dos freios - excesso de peso |
| X31 | Caminhões antigos | X43 | Falha ou ausência de manutenção do caminhão |
| X32 | Verificação pré-operacional inadequada ou imprópria | X44 | Chuva, frio ou calor excessivo |
| X33 | Falha no sistema de controle de velocidade (Tacômetro e velocímetro) | X45 | Excesso de poeira ou neblina |
| X34 | Falha no sistema de tração | X46 | Ventos fortes |
| X35 | Freios desregulados | X47 | Dimensionamento inadequado da estrada |
| X36 | Falha nas sapatas dos freios | X48 | Disposição inadequada de rejeitos e estêreis |
| X37 | Lonas de freios desgastadas | X49 | Ausência de sinalização ou advertência |
| | | X50 | Falta de manutenção |

Nota: As linhas da árvore não se cruzam.
 Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

O excesso de peso é um dos grandes causadores de acidentes com caminhões de carga. A eficiência total de frenagem é dada pela relação percentual entre a força total de frenagem e o peso total do veículo. Caminhões devem apresentar uma eficiência de no mínimo 50%, logo, se o peso do conjunto aumenta e a capacidade de frenagem permanece inalterada, a eficiência tende a ser reduzida, aumentando o risco de acidentes (FONTENELE; ZANUNCIO; JUNIOR, 2011).

Já o excesso de peso por eixo pode provocar o deslocamento do centro de gravidade e a capacidade de frenagem por eixo do veículo diminui, e sua resistência à derrapagem fica prejudicada. A eficiência de frenagem por eixo é dada a partir da soma das forças de frenagem de cada roda de um eixo dividida pela soma das cargas deste eixo, dentro das condições de ensaio do veículo (veículo sem carga, condutor dentro), sendo expressa em porcentagem.

O movimento da carga durante o transporte também pode provocar uma alteração na distribuição dos pesos ou desestabilizar o veículo, por isso foi considerado na FTA (Figura 5.13). Ele foi considerado um evento subdesenvolvido por requer uma melhor explicação de quais fatores seriam capazes de causar tal movimento. A redução da capacidade de frenagem, a perda da estabilidade e a deterioração precoce de pneus e freios são fatores geradores de acidentes.

Para Zhang, Kecohvic e Komljenovic, a falha mecânica é, frequentemente, “[...] o resultado de uma combinação de verificação pré-operacional inadequada ou imprópria e de uma má manutenção.” (ZHANG; KECHOJEVIC; KOMLJENOVIC, 2014, p.111, tradução nossa). Somada a elas, podemos considerar a falha no sistema de tração frenagem, que pode ser desencadeada pelo excesso de velocidade, excesso de peso ou falha na frenagem. A primeira está relacionada, principalmente, as negligências cometidas por motoristas. O excesso de velocidade configura-se em nosso país como uma das maiores causas dos acidentes de trânsito e dos índices de morbimortalidade de pedestres (THIELEN; HARTMANN; SOARES, 2008). Ela também pode estar relacionada com a falha no sistema de controle de velocidade e por falha no controle de tração.

O excesso de peso pode comprometer outros componentes do veículo além dos eixos, como suspensão, rodas, os pneus, entre outros, pois estes não são dimensionados para a sobrecarga, ficando todos sujeitos a quebra ou ruptura (FONTENELE; ZANUNCIO; JUNIOR, 2011). As falhas na frenagem estão

correlacionadas com desgastes nas lonas de freios e nos pneus, freios desregulados, falha no cilindro de freio, superaquecimento dos freios, entre outros (PEREIRA NETO; WIDMER, 2008).

Condições ambientais desfavoráveis podem contribuir para acidentes, o excesso de poeiras suspensas no ar pode diminuir a visibilidade do motorista e provocar o tombamento do veículo; o excesso de água do solo também pode favorecer tal acidente. As estradas íngremes, esburacadas, sinuosas e estreitas da área de exploração, juntamente com ausência ou deficiências na sinalização são outras condições sujeitas a gerar tombamento (WIDMER, 2002).

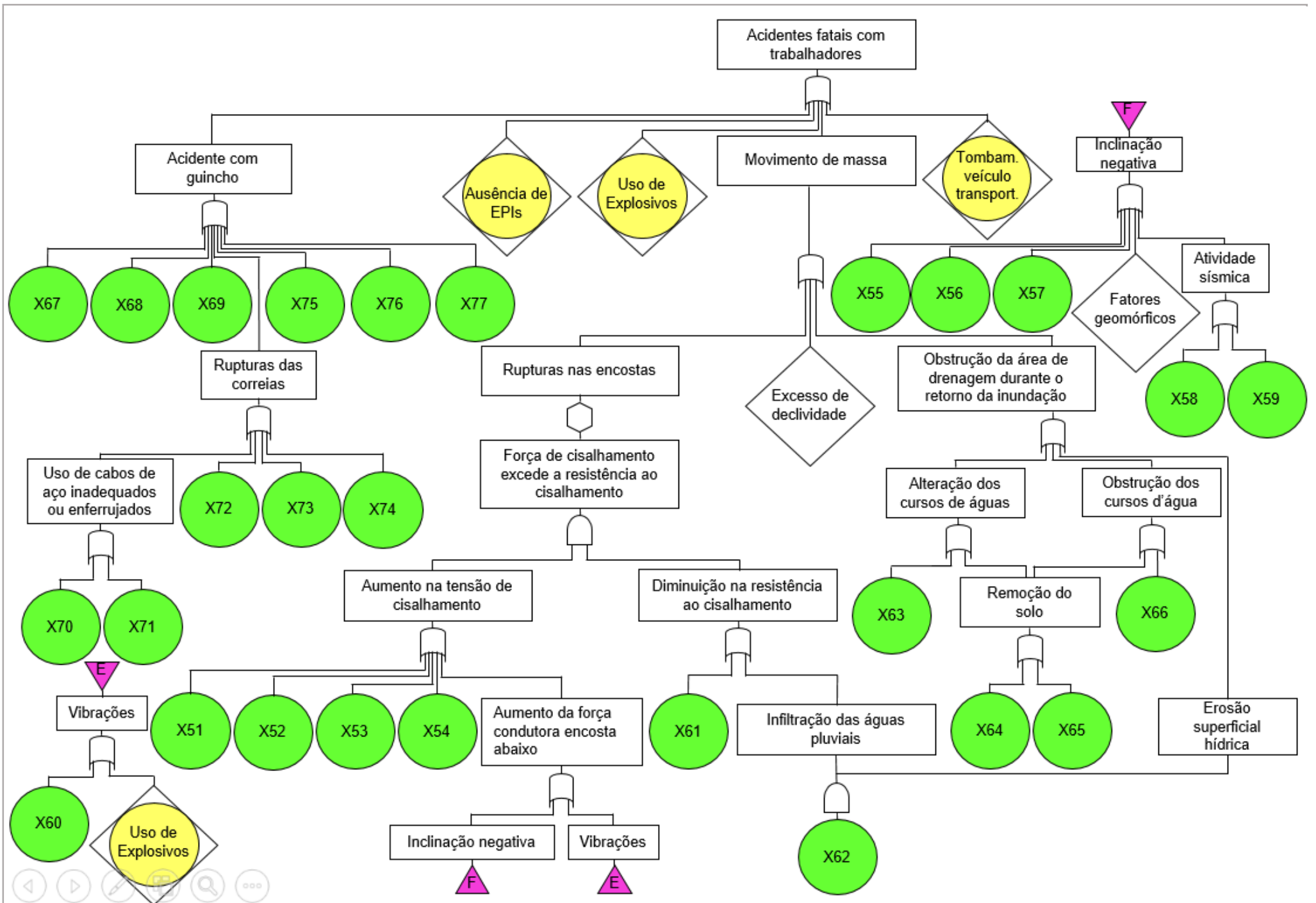
5.6.4 Árvore de falha para acidentes fatais: movimento de massa

De acordo com Araújo (2012, p. 78), “o movimento de massa é uma expressão descritiva para o movimento de materiais que formam a encosta – rochas, solos, enchimentos artificiais ou a combinação desses materiais.” Os tipos de movimentos ou mecanismos de rupturas são: quedas, tombamentos, deslizamentos, espalhamento e fluxos. Os movimentos de massa podem ocorrer devido a rupturas nas encostas, excesso de declividade e por obstrução da área de drenagem durante o retorno da inundação (ARAÚJO, 2012).

As rupturas nas encostas ocorre quando a força de cisalhamento excede a resistência ao cisalhamento (Figura 5.14). O aumento na tensão de cisalhamento é provocada por sobrecargas na encosta, como equipamentos, pilhas de resíduos e estéreis no topo da bancada; por cortes e escavações no sopé; em função de mudanças no nível de água adjacente a encosta, decorrente da interferência nos cursos dos córregos e riachos; da presença de rachaduras e fissuras preenchidas com água, causadas por processos geomorfológicos ou decorrentes das detonações; e devido ao aumento da força condutora encosta abaixo.

A força condutora encosta abaixo é desencadeada pela inclinação negativa do talude ou encosta, e também pelo excesso de vibrações no terreno. Encostas com inclinação superior apresentam maior risco de desabamentos. A alta pluviosidade também pode criar fenômenos desestabilizadores nas encostas (PINHEIRO et al., 2015).

Figura 5.14 - Árvore de falha para acidentes fatais: movimento de massa e acidente com guincho



Legenda:

| | | | |
|-----|---|-----|--|
| X51 | Encosta sobrecarregada (Equipamentos, resíduos, estéril no topo) | X65 | Decapeamento |
| X52 | Cortes e escavações no sopé | X66 | Acomodação inadequada de solo, rejeito e estéril |
| X53 | Mudanças rápidas no nível de água adjacente a encosta | X67 | Ausência de gaiola para transporte de pessoas |
| X54 | Rachaduras e fissuras preenchidas com água | X68 | Fixação inadequada de guincho com rochas no topo da bancada. |
| X55 | Tráfego de veículos pesados no topo da bancada | X69 | Ausência ou supervisão inadequada dos guinchos |
| X56 | Deslocamento gravitacional | X70 | Ausência de recursos pra compra de novos equipamentos |
| X57 | Intempéries | X71 | Ausência ou supervisão inadequada dos cabos |
| X58 | Sismicidade regional | X72 | Desalinhamento das correias |
| X59 | Detonações com explosivos | X73 | Limite da capacidade de suporte excedido |
| X60 | Tráfego de veículos, pessoas e máquinas | X74 | Ausência de sistema de segurança |
| X61 | Falha progressiva pelo enfraquecimento da tensão de cisalhamento. | X75 | Meio inadequado (tinhas) para transporte de pessoas e material para o topo da bancada. |
| X62 | Solo sem cobertura vegetal | X76 | Ausência ou manutenção inadequada dos guinchos |
| X63 | Abertura das frentes de lavra | X77 | Condições ambientais desfavoráveis |
| X64 | Abertura de estradas | | |

Nota: As linhas da árvore não se cruzam.
Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

A inclinação da rocha pode ser induzida por deslocamento gravitacional, intempéries, fatores geomórficos, e efeitos decorrente de atividade sísmica, entre eles o efeito cumulativo de sismicidade regional pode danificar e enfraquecer as encostas. Sendo que, o estresse gravitacional geralmente domina estabilidade de taludes em valas abertas (STEAD; WOLTER, 2015).

Khandelwal e Singh realizaram vários estudos para avaliar e prever a vibração do solo induzida pela explosão utilizando a técnica de redes neurais artificiais (RNA) (KHANDELWAL; SIHGH; 2006, 2007, 2009). Os estudos foram realizados a partir dos registros das explosões monitoradas em uma das principais minas de carvão de superfície na Índia. Eles avaliaram que as vibrações no solo estariam diretamente relacionadas com: a quantidade de explosivos utilizados, a distância da face em relação ao ponto de monitoramento, as condições geológicas e geotécnicas das rochas na área de exploração (SHIN; MOON; CHAE, 2011).

A diminuição na resistência ao cisalhamento pode ser ocasionada por falha progressiva na rocha dada pelo enfraquecimento da tensão de cisalhamento, intemperismo e em função de solo sem cobertura vegetal (ARAÚJO, 2012), como procede-se na área de exploração estudada (INPE, 2012). A alteração e/ou obstrução dos cursos de água, e a erosão superficial hídrica, decorrentes da abertura das frentes de lavra e estradas, decapeamento e da exposição da superfície do solo à ação da chuva, respectivamente, são outras condicionantes que podem provocar o movimento de massa.

5.6.5 Árvore de falha para acidentes fatais: uso de guincho precário

O acidente com guincho é outra causa que pode provocar acidentes fatais com trabalhadores, uma vez que este tipo de equipamento é utilizado tanto para os transporte de pessoas de dentro pra fora das minas, como também, para o transporte resíduos, estéreis, equipamentos e os minérios lavrados. O guincho utilizado na área de exploração de quartzito no município de Várzea (PB) apresenta configuração artesanal, com componentes improvisados, como tinas e cabos de aços enferrujados. As possíveis falhas que podem levar à ocorrência de acidentes fatais com guincho seriam da ausência de recursos financeiros para a compra de novos equipamentos; dos meios inadequados (tinas) para o transporte de pessoas, sem a adoção de

medidas mínimas de segurança; da ancoragem inadequada da base do guincho, utilizando-se de rochas; da ruptura do cabo de aço, devido ao desgaste, da ausência de manutenção e do excesso de peso. As condições ambientais adversas como ventos fortes são outros fatores que podem motivar tal evento (Figura 5.14).

6 CONCLUSÃO

Na caracterização da atividade extrativista no município de Várzea (PB) foi possível identificar muitos perigos, fontes geradoras de risco, tanto na área de exploração do minério quanto nas usinas de beneficiamento para os mineiros, o meio ambiente, a fauna e a flora. A avaliação de risco através da aplicação da metodologia FMEA permitiu mensurar essas fontes geradoras de risco, apenas para a exploração, apreciar as suas causas, seus efeitos e propor medidas que deverão ser priorizadas no gerenciamento de risco, a fim de eliminar ou minimizar esses efeitos.

A informalidade da atividade extrativista impõe aos garimpeiros, todos os dias, a falta de segurança, a falta de qualificação técnica e a ausência de incentivos, gerando e desencadeando outros riscos para eles e seu entorno, por isso foi classificada como um risco elevado. O estudo permitiu considerar que a elaboração, implementação e adoção de plano de gerenciamento de riscos, de segurança individual e coletiva são imprescindíveis. E que danos decorrentes de explosões, como vibrações, ruídos e emissões de poeiras podem ser efetivamente controlados utilizando um plano de detonação adequado, tempo de atraso adequado e sequência de iniciação apropriada, por exemplo.

A análise da árvore de falhas (FTA) é uma das ferramentas mais poderosas para prever qualitativamente os eventos intermediários e básicos que podem interagir para causar um acidente fatal (evento de topo). A investigação das causas que poderiam gerar determinados acidentes permite ao avaliador aprofundar seus estudos.

Os resultados da FTA demonstram que as duas causas mais comuns para a ocorrência de acidente fatal com o trabalhador é decorrente de uma verificação pré-operacional inadequada executada pelo próprio mineiro. A manutenção ineficiente ou ausente de equipamentos, máquinas e veículos, são outros fatores que potencializam a sua ocorrência. A ausência de capacitação técnica dos garimpeiros, o desconhecimento de medidas de segurança e a falta de condições operacionais adequadas são causas frequentes nas árvores de falhas construídas e discutidas.

Portanto, a adoção de um sistema de monitoramento ambiental é fundamental para que haja uma exploração sustentável e responsável, pensando nas gerações futuras. Para tanto, é preciso criar e desenvolver projetos que possam ser

implementados nas áreas de exploração, com a finalidade de trazer e incentivar a pesquisa em um ambiente tão carente de estudos e resoluções.

Verificou-se, através da pesquisa de campo, que, além de ser uma atividade industrial bastante perigosa, é altamente degradante, principalmente, para o meio ambiente, com alterações significativas e impactantes no relevo. Além disso, constatou-se que a avaliação de risco pode trazer resultados relevantes, rápidos, precisos e de baixo custo, tornando-se um desafio para a comunidade científica e um berço para a elaboração de vários outros trabalhos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). **Mapa de Geomorfologia da Paraíba 2006**. João Pessoa, 2006a. 1 mapa. Escala 1:1.200.000. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>>. Acesso: 12 ago. 2015.

_____. **Mapa da pluviometria média do estado da Paraíba 2006**. João Pessoa, 2006b. 1 mapa. Escala 1:1.200.000. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php> Acesso: 12 ago. 2015.

AMORIM, M. L. C. M. **Proposta de tratamento e aproveitamento dos resíduos provenientes de uma unidade industrial de beneficiamento de quartzito**. 2012. 42 f. TCC (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, UEPB, 2012.

ARAÚJO, G. H. S. **Gestão Ambiental de áreas degradadas**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14.001**: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 9653**: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas: Procedimento. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9061**: Segurança de escavação a céu aberto: Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.

AVEN, T. The risk concept - historical and recent development trends. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 99, p. 33-44, mar. 2012.

_____. Practical implications of the new risk perspectives. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 115, p. 136-145, jul. 2013.

BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, W. S.; AGUIAR, M. C.; GADIOLI, M. C. B.; VIEIRA, C. M. F. Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha. **HOLOS**, v. 6, n. 28, 2012.

BAHN, Susanne. Workplace hazard identification and management: The case of an underground mining operation. **Safety Science**, v. 57, p. 129-137, 2013.

BARBATO, C. N.; OGASAWARA, T.; SAMPAIO, J.A. **Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região Borborema-Seridó para a produção de uma vitrocerâmica felspática reforçada com leucita**. Série Rochas e Minerais Industriais – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 41p.

BARKEMEYER, R.; STRINGER, L. C.; HOLLINS, J. A.; JOSEPHI, F. Corporate reporting on solutions to wicked problems: Sustainable land management in the mining sector. **Environmental Science & Policy**, v. 48 p. 196-209, 2015.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região Metropolitana de São Paulo. 185 f. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

BRAND, F. A.; DLAMOLIN, C.; TRAVASSOS JR., X. L.; PACHEKOSKI, W. M. Avaliação da metodologia FMEA como ferramenta para reduzir impactos ambientais no processo manutenção industrial, **REGET-UFSM**, v.10, n. 10, p. 2081-2090, abr. 2013.

BRASIL. Código de Mineração (1967). **Código de Mineração**: e legislação correlata. – 2. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2011. 112 p. – (Coleção ambiental; v. 2).

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm . Acesso: 29 mar. 2014.

_____. Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000. Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 nov. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3665.htm> .Acesso em: 25 de jan. 2013.

_____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 22 dez. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 06, de 23 de setembro de 2008. Traz a lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e com deficiência de dados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 145, n. 185, 24 set. 2008. Seção 1, p. 75-83.

_____. NR 4: Serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho. Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978. . **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul. 1978a. Disponível em:< <http://www.sindpd.org.br/sindpd/1-cipa-campinas/documentos/NR-04-2014-atualizada.pdf>> Acesso em: 03 nov. 2014.

_____. NR 6: Equipamentos de proteção individual. Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978. . **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul. 1978b. Disponível em:< [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D04014767F2933F5800/NR-06%20\(atualizada\)%202014.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D04014767F2933F5800/NR-06%20(atualizada)%202014.pdf)> Acesso em: 03 nov. 2014.

BRASIL. NR 15: Atividades e Operações insalubres. Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul 1978c. Disponível em:<
[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14EAE840951/NR-15%20\(atualizada%202014\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14EAE840951/NR-15%20(atualizada%202014).pdf)> Acesso em: 15 dez. 2014.

_____. NR 16: Atividades e operações perigosas. Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul 1978d. Disponível em:<
[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A4B277C09014B4A45540355EF/NR-16%20\(atualizada%202015\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A4B277C09014B4A45540355EF/NR-16%20(atualizada%202015).pdf)> Acesso em: 07 dez. 2014.

_____. NR 22: Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul 1978d. Disponível em:<
<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D32401BA601326320FAA31075/NR-22%20%28atualizada%202011%29.pdf>> Acesso em: 15 fev. 2015.

_____. Superintendência na Paraíba. Despacho do Superintendente: relação nº - 20/2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 04 mai. 2010. Disponível: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/3663870/pg-68-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-04-05-2010/pdfView>. Acesso: 18 mar. 2014.

BRILHANTE, O.M.; CALDAS, L.Q.A. **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. 155 p.

BUTT, T.E. et al. Literature review of baseline study for risk analysis - The landfill leachate case. **Environment International**, v. 63, p. 149-162, 2014.

_____. A review of literature and computer models on exposure assessment. **Environ Technol**, v. 30, p.1487-1501, 2009.

CANDIA, R. C. et al. Análise de acidentes fatais na mineração: o caso da mineração no Peru. **Rev. Esc. Minas** [online], v. 62, n. 4, p. 517 – 523, 2009.

CANDIA, R. C. **Uma contribuição ao estudo de acidentes fatais por quedas de rochas**. 139 f. 2011, Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2011.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM). **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**/Eds. VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. C; – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700 p.

CHEN, J. et al. Open-pit mining geomorphic feature characterisation. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 42, p. 76-86, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESP). **Norma Técnica P4.261** - Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência. São Paulo, 2011. 140 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/P4261-revisada.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2013.

_____. **Norma Técnica D7.013** – Avaliação e monitoramento das operações de desmonte de rocha com uso de explosivos na mineração. São Paulo, 2015. 8 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2014/12/DD-052-2015-I-C.pdf>> . Acesso em: 10 jun. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resoluções do Conama:** Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do meio ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126 p.

COSTA, J. B. **Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico**. 4 ed. In: Fundação Calouste Gulbenkian. Portugal, Lisboa, p. 161 – 184, 1950.

DALLORA, N. C. **Análise das vibrações resultantes do desmonte de rocha em mineração de calcário e argilito posicionada junto à área urbana de Limeira (SP)**. 82 f. 2004, Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Mapa Multimodal da Paraíba 2013**. São Paulo: DNIT, 2013. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário mineral brasileiro**; Brasília, ano base 2009, 2010. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=66>>. Acesso em: 06 jun. 2013.

_____. **Dados do processo nº 846.478/2007**. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/Extra/site/admin/dadosProcesso.aspx> . Acesso: 04 de março de 2013.

FANG, C. et al. Network theory-based analysis of risk interactions in large engineering projects. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 106, p. 1-10, 2012.

FARAMARZI, F.; FARSANGI, M. A. E.; MANSOURI, H. Simultaneous investigation of blast induced ground vibration and airblast effects on safety level of structures and human in surface blasting, International Journal of Mining **Science and Technology**, v. 24, n. 5, p. 663-669, set. 2014.

FARHAD, F.; MOHAMMAD ALI, E. F.; HAMID, M. Simultaneous investigation of blast induced ground vibration and airblast effects on safety level of structures and human in surface blasting. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 24, p. 663-669, 2014.

FERREIRA, A. C. M. et al. Ocorrências de euclásios gemas em pegmatitos berilo-tantalíferos da região do Seridó, Província Pegmatítica da Borborema. **Estudos Geológicos**, v. 18, n. 2, p. 117-128, 2008.

FONTENELE, H. H.; ZANUNCIO, C. E. M; JUNIOR, C. A. P. S. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.18, p.95-103, nov. 2011.

FONTANELLI, G.; SOUZA, L. E.; ABICHEQUER, L. A.; OLIVEIRA NETO, R. GONÇALVES, I. G. Diagnóstico e modelos de previsão de níveis de ruído e vibração em desmonte de rochas com explosivos. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 43-61, 2015.

GHARAHASANLOU, A. N., MOKHTAREI, A.; KHODAYAREI, A.; ATAEI, M. Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran. **Case Studies in Engineering Failure Analysis**, v. 2, n. 1, p. 33-38, abr. 2014.

GHASEMI, E.; SARI, M.; ATAEI, M. Development of an empirical model for predicting the effects of controllable blasting parameters on flyrock distance in surface mines. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 52, p. 163-170, jun. 2012.

GROVES, W.A.; KECHOJEVIC, V.J.; KOMLJENOVIC, D. Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. **Journal of Safety Research**, v.38, p. 461-470, 2007.

GUPTA, A. K. et al. Environmental risk mapping approach: risk minimization tool for development of industrial growth centres in developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 271-281, 2002.

HAKAN, Ak.; KONUK, A. The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: A case study. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 28, n. 9, p. 686-694, set. 2008.

HONG, W. **Aplicação do método de análise de risco ao estudo de descarrilamento**. 154 f. 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados dos municípios do Estado da Paraíba**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=251710>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

_____. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/>. Acesso em: 21 jun. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Várzea – PB: uso e ocupação do solo**. Natal: INPE, 2012. 1 mapa. Escala 1:30.000 . Disponível em: http://www.geopro.crn2.inpe.br/varzea_pb.htm. Acesso: 10 ago. 2015.

JANUÁRIO, P. B. **Análise de conformidade de indicadores sentinelas da qualidade da água de abastecimento de campina Grande – PB**. 75 f. 2013, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

KECOJEVIC, V.; RÁDOMSKY, M. Flyrock phenomena and area security in blasting-related accidents. **Safety Science**, v. 43, n. 9, p. 739-750, nov. 2005.

KHANDELWAL, M.; MONJEZI, M. Prediction of flyrock in open pit blasting operation using machine learning method. **International Journal of Mining Science and Technology**, v.23, n.3, p. 313-316, mai. 2013.

KHANDELWAL, M.; SIHGH, T.N. Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: A neural network approach. **Journal of Sound and Vibration**, v. 289, n. 4–5, p. 711-725, fev. 2006.

_____. Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 27, ed. 2, p. 116-125, fevereiro de 2007.

_____. Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 46, ed. 7, p. 1214-1222, Outubro de 2009.

KOLLURO, R. et al. **Risk assessment and management handbook for environmental, health and safety professionals**. Mcgraw-Hill, INC, 1996. Traduzido por Aristóteles Costa Moraes em 2006.

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. Operações de lavra em pedreiras. In: ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, B. L. (Org.). **Manual de agregados para a construção civil**. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009, p. 109-128.

KUMAR, M.S.; SIVASANKAR, V.; GOPALAKRISHNA, G.V.T. Quantification of benzene in groundwater sources and risk analysis in a popular South Indian Pilgrimage City – A GIS based approach. **Arabian Journal of Chemistry**, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535213003201> Acesso em: 03 jan. 2014.

KUZU, C. The importance of site-specific characters in prediction models for blast-induced ground vibrations, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 28, n. 5, p. 405-414, Mai. 2008.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Ed.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.8., n.3, p. 110-117, 2013.

LIU, H-C.; LIU, L. LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 2, p. 828-838, fev. 2013.

MAHDEVARI, S.; SHAHRIAR, K.; ESFAHANIPOUR, A. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. **Science of The Total Environment**, v. 488-489, p. 85-99, ago. 2014.

MANCA, D. Quantitative assessment in safety reports of the consequences from the detonation of solid explosives. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.26, p. 974-981, 2013.

MANICKUM, T.; JOHN, W. Occurrence, fate and environmental risk assessment of endocrine disrupting compounds at the wastewater treatment works in Pietermaritzburg (South Africa). **Science of The Total Environment**, v. 468-469, p. 584-597, 2014.

MANNETJE, A't. et al. Exposure-response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts. **Occup Environ Med**, v. 59, p. 723-728, 2002.

MARHAVILASA, P.K.; KOULOURIOTISB, D.; GEMENIB, V. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 24, n. 5, p. 477-523, 2011.

MARKOWSKI, A. S. exLOPA for explosion risks assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 3, p. 669-676, abr. 2007.

MARKOWSKI, A. S.; MANNAN, M. S.; KOTYNIA, A.; PAWLAK, H. Pawlak, Application of fuzzy logic to explosion risk assessment. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 24, n. 6, p. 780-790, nov. 2011.

MORAES, L. C. **O Ensino de Geologia nos cursos técnicos de mineração no Brasil: uma visão a partir de Araxá, MG**. 2005. 221 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.

MOTARJEMI, Y.; ROSS, T. Risk Analysis: Risk Communication: Biological Hazards. **Encyclopedia of Food Safety**, v. 1: History, Science and Methods, p. 127-132, 2014.

OLIVEIRA, S. F.; CUNHA, A. L. C.; MENDES, V. A. Contexto geológico e estrutural da Formação Seridó, nas pedreiras do "preto matriz", município de currais novos/RN – Província Borborema. **Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 36-43, 2013.

ORTIZ, P. et al. Approach to environmental risk analysis for the main monuments in a historical city. **Journal of Cultural Heritage**, v. 15, p. 432-440, 2014.

PAITHANKAR, A. **Hazard identification and risk analysis in Mining industry**. 74 f. 2011, Thesis (Bachelor of Technology in Mining Engineering) - National Institute of Technology Rourkela, Odisha, Índia, 2011.

PEREIRA NETO, W. A.; WIDMER, J. A. Compatibilidade das faixas de mudança de velocidade para o tráfego de veículos pesados em rodovias brasileiras. **Transportes** (Rio de Janeiro), v. 16, p. 102-114, 2008.

PINHEIRO, M. et al. A new empirical system for rock slope stability analysis in exploitation stage. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 76, p. 182-191, jun. 2015.

RAJAKARUNAKARAN, S.; KUMAR, M. PRABHU, A. Applications of fuzzy faulty tree analysis and expert elicitation for evaluation of risks in LPG refuelling station. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 33, p.109-123, 2015.

RIBEIRO, W. S.; BABISK, M. P. Estudo da influência de adição de resíduo de quartzitos na resistência de cerâmica vermelha. In: In: Jornada de Iniciação Científica da CTEM, 22., 2012, Uberaba, **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. p.1-4. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/28-publicacoes/308-serie-anais-da-xx-jornada-de-iniciacao-cientifica>>. Acesso: 7 abr. 2013.

SANTOS, D. A. **Estudo da extração mineral de quartzito na cidade de várzea – PB**. 2011. 63 f. TCC (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, 2011.

SANTOS, D. A.; GURGEL, M. T.; MOTA, A. F.; PAIVA; F. I. G. Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de Várzea – PB. **HOLOS**, v. 4, p. 89 -100, 2014.

SCHRAGE, M. W. **Mapa de ruído como ferramenta de diagnóstico do conforto acústico da comunidade**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SCIPIONI, A. et al. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. **Food Control**, v. 13, p. 495-501, 2002.

SERRANO, A.B. et al. Co-occurrence and risk assessment of mycotoxins in food and diet from Mediterranean area. **Food Chemistry**, v. 135, p. 423-429, 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Diagnóstico do município de Várzea**, estado da Paraíba. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/VARZ214.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

SHIN, J-H.; MOON, H-G.; CHAE, S-F. Effect of blast-induced vibration on existing tunnels in soft rocks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 26, n. 1, p. 51-61, jan. 2011.

SILVA NETO, M. F.; SILVA, F. C. A.; GALINDO, A. C. Plúton granítico Serra Verde (Faixa Seridó, Porção NE da Província Borborema): aspectos petrográficos e estruturais. **Estudos Geológicos**, v. 15, n. 1, p. 153-164, 2005.

SILVA, S. M. O.; CROSTA, A. P.; FERREIRA, F. J. F.; BEURLIN, H.; SILVA, A. M.; SANTOS, L. F. Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 4, p. 673-690, 2010.

SINGH, P.K.; ROY, M.P. Damage to surface structures due to blast vibration, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. v. 47, n. 6, p. 949-961, set. 2010.

SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE (SUS). LER/DORT. Rio Claro: São Paulo, 2008. Disponível em: < <http://www.saude-rioclaro.org.br/crst/cartilhas/Cartilha%20LER%20DORT%20Cerest%20-%20RC%202008.pdf>> . Acesso: 27 jun. de 2014.

SOUSA, A. P. F.; LIMA, AARÃO, A. L.; GOPIMATH, T. R.; NADLER, H. C. S. Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzitos no estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2001, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2002. p.113-118. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1265>>. Acesso: 7 abr. 2013.

SOUSA, A. P.F.; LIMA, A. A.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, J.B.B.; SANTOS, B. V. B.; SOUSA, D. D.; BEZERRA, C. S. Uma estratégia para o aproveitamento sustentável do quartzito De várzea/PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO, 7.; CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA SUBTERRÂNEA, 7., 2012, Belo Horizonte. **Trabalhos técnicos...** Belo Horizonte: UFMG, 2012. p. 1-16. Disponível em:<http://www.cbmina.org.br/media/palestra_7/T50.pdf>. Acesso: 05 jan. de 2014.

SOUZA, I. O. **Avaliação do risco da qualidade da água potável do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB)**. 2011. 69 f. TCC (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, UEPB, 2011.

STEAD, D.; WOLTER, A. A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology. **Journal of Structural Geology**, v. 74, p. 1-23, mai. 2015.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Municípios do Nordeste em relação às zonas geoeconômicas e ao polígono das secas**. Assessoria Técnica, Recife: A Superintendência, 1972, 71 p.

THIELEN, I. P.; HARTMANN, R. C.; SOARES, D. P. Percepção de risco e excesso de velocidade. **Cad. Saúde Pública**, v. 24, n. 1, p. 131-139, jan. 2008.

THOMAS, B. A.; STEPHEN, K. O. Assessment of noise and ground vibration induced during blasting operations in an open pit mine - A case study on Ewekoro limestone quarry, Nigeria. **Mining Science and Technology (China)**, v. 19, p. 420-424, 2009.

TRAFIALEK, J.; KOLANOWSKI, W. Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for audit of HACCP system. **Food Control**, v.44, p. 35-44, out. 2014.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA: Análise do Tipo e Efeito de Falha**. São Carlos: UFSCar, 2006.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD). **Achieving Global Sustainability through Effective Sustainable Land Management and Implementing the UNCCD 10-year Strategic Plan and Framework to enhance the Implementation of the Convention (2008–2018)**.

Bonn, Germany, 2011, 20p. Disponível em:

<http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Parliament/2011/9%20session%20RT%20for%20Parliamentarians%20-%20Oct%202011.pdf>> Acesso em: 05 jan. 2015.

VAN DUIJNE et al. Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment. **Safety Science**, v. 46, p. 245-254, 2008.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; WILLIAMS, I. S.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M. The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre-to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U–Pb detrital zircon ages and Sm–Nd crustal residence (TDM) ages. **Precambrian Research**, v. 127, n. 4, p.287-327, 2003.

VIANA, D. B. **Riscos ambientais em áreas contaminadas**. 1 ed. – São Paulo: Sicurezza, 2012.

VIDAL, F.W.H.; PEREIRA, R. A.; CASTRO, N.F.; MENDES, V.A.; COSTA, J.C.A. Aprimoramento das técnicas de extração de quartzito do Seridó paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 4.; SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2012, Campina Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p.59-69.

VIEIRA, E. A. A (in) sustentabilidade da indústria da mineração no Brasil. **Estação Científica**, v. 1, n. 2, p. 1-15, 2011.

VIERA, E. V. V.; SOUZA, M. M.; GONZAGA, L. M. Caracterização dos resíduos da lavra de quartzitos da região do Seridó visando a produção de cerâmica para porcelanato. Ambiente Mineral. Campina Grande: **Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente**, v.3, nº 1, p. 16-24, 2013.

WANG, D.; ZHANG, P.; CHEN, L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 26, n. 6, p. 1390-1398, nov. 2013.

WIDMER, J. A. Análise teórica da eficiência de frenagem de algumas configurações de veículos unitários e combinações de veículos rodoviários de carga brasileiros. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAIS DA TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, 11, 2002, São Paulo. **Trabalhos/ veículos...** São Paulo: SAE-BRASIL, 2002.

WÜNSCH FILHO, Victor. Perfil Epidemiológico dos trabalhadores. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 2, n. 2, p. 103-117, 2004.

ZHANG, M.; KECOJEVIC, V.; KOMLJENOVIC, D. Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis, v. **Safety Science**, v. 65, p. 106 -117, 2014.

APÊNDICE A – Tabela de Escores

| Escore para Severidade | | |
|--------------------------------|--|---------------|
| Severidade da não conformidade | | Classificação |
| Alta | Causam efeitos graves danosos ao meio ambiente, a saúde humana, que apresentem características: corrosividade, explosividade, toxicidade, patogenicidade, irreversibilidade. | 3 |
| Moderada | Causam efeitos danosos leves ao meio ambiente, à saúde humana. São necessários um longo tempo para que os danos sejam revertidos ou minimizados. | 2 |
| Baixa | Causam efeitos menos significativos ao meio ambiente, a saúde humana, que podem ser solucionados em um espaço de tempo curto, sejam reversíveis, etc. | 1 |

| Escore para Ocorrência | | |
|--------------------------------|------------------------------|---------------|
| Ocorrência da não conformidade | | Classificação |
| Alta | Diariamente ou semanalmente | 3 |
| Moderada | Mensalmente | 2 |
| Baixa | Semestralmente ou anualmente | 1 |

| Escore para Detecção | | |
|------------------------------|---|---------------|
| Detecção da não conformidade | | Classificação |
| Alta | As chances de detectar uma causa potencial de modo de falha são pequenas. Sendo necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente). | 3 |
| Moderada | Para a detecção do modo de falha é necessária a adoção de técnicas, aparelhos, medições simples. | 2 |
| Baixa | A não conformidade pode ser percebida pelo ser humano (visão, odor, etc.). | 1 |

| Escore para Abrangência | | |
|---------------------------------|--|---------------|
| Abrangência da não conformidade | | Classificação |
| Alta | A falha ultrapassa os limites do local de exploração. | 3 |
| Moderada | A falha alcança até os limites da região de exploração do minério quartzito. | 2 |
| Baixa | A falha alcança apenas o local onde ocorre a exploração de quartzito. | 1 |