



THOMAZ NUNES GUIMARÃES

**LEVANTAMENTO DE REQUISITOS OPERACIONAIS PARA INSPEÇÃO
OPERACIONAL COM A UTILIZAÇÃO DE ROBÔS**

**Ouro Preto,
Minas Gerais, Brasil
2022**

THOMAZ NUNES GUIMARÃES

**LEVANTAMENTO DE REQUISITOS OPERACIONAIS PARA INSPEÇÃO
OPERACIONAL COM A UTILIZAÇÃO DE ROBÔS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Automação para Processos de Mineração.

Área: Robótica

Orientador: Jacó Dias Domingues

Ouro Preto, MG

2022

Título: Levantamento de requisitos operacionais para inspeção operacional com a utilização de robôs

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G443I

Guimarães, Thomaz Nunes

Levantamento de requisitos operacionais para inspeção operacional com a utilização de robôs. Thomaz Nunes Guimarães... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

53 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.

Orientador: Jacó Dias Domingues

1. Robótica. 2. Inspeção operacional. 3. Tecnologia. I. Domingues, Jacó Dias. II. Título.

CDD.23. ed. 629.892

Thomaz Nunes Guimarães

**LEVANTAMENTO DE REQUISITOS OPERACIONAIS PARA INSPEÇÃO
OPERACIONAL COM A UTILIZAÇÃO DE ROBÔS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Automação para Processos de Mineração].

Orientador: Prof. MSc. Jacó Dias Domingues

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 16 de dezembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. MSc. Jacó Dias Domingues
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. MSc. Levi Welington de Resende Filho
Membro externo – ArcelorMittal

Prof. MSc. Filipe Augusto Santos Rocha
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/DB6C-B34B-8F64-7B58> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/DB6C-B34B-8F64-7B58> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: DB6C-B34B-8F64-7B58



Hash do Documento

E5B95EBF069FF404893B4A61B50F4D56D29B055B3A56F72ED2C431C969158366

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 04/01/2023 é(são) :

- Filipe Augusto Santos Rocha (Signatário) - em 04/01/2023 09:32 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: filipe.augusto.rocha@pq.itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 04 2023 09:32:17 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Location not shared by user.

IP 186.206.254.179

Hash Evidências:

474979990154312F13EEDAB85D8348EEC58C489411FAA599607AEC920F8FBC0F

- Jacó Dias Domingues (Signatário) - 112.250.696-10 em 04/01/2023 08:54 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: jaco.domingues@itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 04 2023 08:54:19 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -22.9376 Longitude: -46.5502208 Accuracy: 4232.247180863995

IP 132.255.38.124

Hash Evidências:

C449A5B93CFB28944C8B670D0B7D7FE0EDDBDF971E59DDC68E338F618C2406DA

- Levi Welington de Resende Filho (Signatário) - em 02/01/2023 16:51 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: levi.filho@arcelormittal.com.br

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 02 2023 16:51:01 GMT-0300 (hora estándar de Brasilia)

Geolocation Latitude: -20.2624 Longitude: -40.2737 Accuracy: 8705

IP 191.238.128.200

Hash Evidências:

832C06E8B99477310B1D02C1CB3A4F8CE123778D976E62638DAAA234E401BE6C



À minha família, a Deus, Cristiane minha esposa, ao meu filho Yuri.

Aos meus colegas e companheiros de curso.

Aos professores, amigos e gestores.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida. À minha família por ser a fonte de inspiração, determinação e motivação. Aos gestores Cezar Gonçalves e Andre Fonseca por terem me dado a oportunidade de poder adquirir conhecimento através desta especialização.

Agradecer aos professores que nesta caminhada foram parceiros e pacientes que nos ensinaram de forma objetiva os seus conceitos.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

A área industrial está em um desenvolvimento crescente no que tange a evolução da tecnologia nas últimas décadas, no qual várias inovações tecnológicas foram apresentadas e implementadas no mercado industrial, seja na área da aviação, da indústria automobilística, indústria têxtil, dentre outras existentes. Na mineração a evolução não seguiu o mesmo caminho, as indústrias da mineração e a da siderurgia não produziam tecnologia voltada para evolução tecnológica de seus processos. O cenário se altera nas últimas décadas e as empresas começam a enxergar que a tecnologia serve como uma aliada, então os primeiros estudos começaram a surgir, chegando hoje aos caminhões autônomos, perfuratrizes autônomas, robôs programados para realizar limpezas de grandes equipamentos, dentre outros. Seguindo essa linha, as interações com robôs e sistemas autônomos vem evoluindo. Este aumento está ligado diretamente ao aumento da segurança das pessoas e aumento de produtividade dos processos dentro das várias áreas na mineração. O trabalho em questão apresenta a ideia de como robôs podem auxiliar nas atividades operacionais, como em inspeções. As inspeções são parte fundamental de um sistema operacional, ela pode detectar falhas que estão em seu início e serem tratadas antes de um colapso de que possa paralisar o processo. A inspeção também pode ser aliada em momentos em que o operador não pode executar uma atividade por haver algum impeditivo em questão de segurança, que o deixa realiza uma inspeção criteriosa.

Palavras-chave: Robótica. Inspeção operacional. Tecnologia.

Fase da Cadeia: Saúde & Segurança.

ABSTRACT

The industrial area is in a growing development regarding the evolution of technology in recent decades, in which several technological innovations have been presented and implemented in the industrial market, whether in the area of aviation, the automotive industry, textile industry, among others existing. In mining evolution did not follow the same path, the mining and steel industries did not produce technology aimed at technological evolution of their processes. The scenario changes in recent decades and companies begin to see that technology serves as an ally, so the first studies began to emerge, reaching today the autonomous trucks, autonomous drills, robots programmed to perform cleaning of large equipment, among others. Following this line, interactions with robots and autonomous systems have been evolving. This increase is directly linked to increased people safety and increased process productivity within the various areas in mining. The work in question presents the idea of how robots can assist in operational activities, such as inspections. Inspections are a fundamental part of an operating system, it can detect failures that are at its beginning and be addressed before a collapse that can paralyze the process. The inspection can also be allied at times when the operator cannot perform an activity because there is some impediment in security, which leaves him performing a judicious inspection.

Keywords: Robotics. Operational inspection. Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Itabirito com bandamentos de hematita e quartzo.....	22
Figura 2 – Desenho esquemático de um britador de mandíbula com um bloco de minério	24
Figura 3 – Desenho esquemático de um britador giratório.....	24
Figura 4 – Desenho esquemático de um britador cônico	25
Figura 5 - TCLD.....	28
Figura 6 – Marcos na história da robótica	30
Figura 7 – Principais robôs utilizados	Erro! Indicador não definido.
Figura 8 - Localização e Via	32
Figura 9 – TCLD Fábrica Nova - Timbopeba.....	34
Figura 10 – Relevo onde se situa os túneis do TCLD	35
Figura 11 – Seção de corte dos túneis em concreto e rocha.....	36
Figura 12 – Túnel na porção de concreto armado.....	36
Figura 13 – ROSI.....	38
Figura 14 – Drone utilizado para observação	40
Figura 15 – EspeleoRobô na configuração com rodas.....	41
Figura 16 – Anymal	42
Figura 17 – Matriz de criticidade Risco de Colapso do TCLD	44
Figura 18 – Paradas com material na câmara de britagem (britador giratório e de mandíbula)	45
Figura 19 – Desenho esquemático de paradas por material não britável.....	46
Figura 20 – Visão sob um britador giratório.....	47
Figura 21 – Pontos de observação em campo no interior do túnel: (a) ferragem exposta, (b) Infiltração, (c) Trinca, (d) Fissuras com eflorescências em região de infiltração e (e) Drenos.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do britador giratório.....33

Tabela 2 - Informações operacionais TCLD.....34

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

TCLD – Transportador de Correia de Longa Distância

ROM – Run Of Mine (Minério direto da mina)

TC – Transportador de correia

RGB – Red Green Blue (Vermelho Verde e Azul)

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

HIRA - Hazard Identification and Risk Assessment (Identificação de perigos e avaliação de riscos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
2.3	Estrutura do trabalho	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1	Mineração	21
3.1.1	Minério de ferro	21
3.1.2	Etapas do beneficiamento do minério de ferro	22
3.1.2.1	Fragmentação ou Cominuição	23
3.1.2.2	Classificação	25
3.1.2.3	Concentração	26
3.1.2.4	Amostragem	26
3.1.2.5	Disposição de rejeito	26
3.1.3	Transporte de minério	27
3.1.3.1	Transportador de correia de longa distância (TCLD)	27
3.1.3.2	Túneis	28
3.1.3.3	Inspeções e segurança dos túneis	29
3.2	Robótica	29
3.2.1	A importância da robótica	29
3.2.2	Processamento da informação robótica	30
3.2.3	Robôs na mineração	31
3.2.4	Inspeção visual robotizada	31
4	ESTUDO DE CASO	32
4.1	Localização	32
4.2	Mina de Fábrica Nova e Timbopeba	32
4.3	Britador Primário de Fábrica Nova	33
4.4	TCLD (Fábrica Nova x Timbopeba)	34
4.4.1	Túneis TCLD (FN x TO)	35
4.5	Inspeção	37
4.6	Possibilidades de robôs na inspeção	38

4.6.1 ROSI.....	38
4.6.2 Drones.....	39
4.6.3 EspeleoRobô.....	40
4.6.4 Anymal	41
5 METODOLOGIA	43
5.1 Descrição do problema.....	43
5.2 Metodologia utilizada no estudo do problema.....	43
5.3 Utilização em campo dos robôs	44
5.3.1 Utilização em inspeções em britadores obstruídos.....	44
5.3.2 Utilização em inspeções em túneis.....	47
6 DISCUSSÕES.....	49
7 CONCLUSÃO	50
7.1 Sugestões para trabalhos futuros	50
<u>REFERÊNCIAS</u>	51

1 INTRODUÇÃO

A mineração no Brasil se mistura à evolução do nosso país, desde a chegada dos portugueses em solo brasileiro. Após a descoberta de ouro em nossas terras, houve o que se chamou de “corrida pelo ouro” chegando até a famosa descoberta de Serra Pelada, onde toneladas de ouro foram extraídas de forma precária. Mas a mineração no Brasil não se resume apenas ao ouro, o país é riquíssimo em vários outros minerais, dentre eles o ferro, líder de exportação do país, que tem em Minas Gerais e Pará os seus estados de maior produção.

O ferro está em quase tudo que usamos hoje em dia, é um metal que tem várias formas de ser utilizado, ele não é encontrado de forma pura na natureza. Dentro das minas depois de ser extraído, ele passa por processos físicos e químicos a fim de obter a melhor granulometria e teor para os seus produtos e assim partir para a siderurgia para extrair o bem mineral, separando o ferro de suas impurezas, obtendo o ferro puro.

A indústria minerária é uma indústria robusta, mas que ao passar dos vários anos de história não seguiu a linha de modernização em que vários segmentos da indústria seguiram, como a automobilística por exemplo. Estas indústrias foram se modernizando durante os anos de sua evolução, buscando aumentar a interação homem-máquina. Como exemplo temos a indústria automobilística que hoje é uma das referências em tecnologia para a fabricação de seus carros, em que vários robôs fazem milimetricamente a construção de grande parte dos carros em sua linha de montagem.

Na mineração, começou a ocorrer nas últimas décadas a busca de uma mineração mais produtiva e segura. As empresas estão investindo para melhorar seu desempenho e segurança nos processos. Vários exemplos já surgiram como: utilização de robôs, drones, visão espectral, dentre outros.

No que tange as operações das usinas de beneficiamento, a inspeção é um processo primordial em processos robustos como o da mineração, dependendo do tipo de inspeção é um processo que pode chegar ser perigoso se não controlado. Neste ponto que a evolução da robótica chega para auxiliar com seus métodos sofisticados e sensoriamento, trocando o homem pelo robô para executar esta atividade tão importante. A visão, a audição, o tato são

sentidos que o ser humano usa nestes momentos de inspeção e com a utilização de robôs equipados com sensores que podem substituir estes sentidos do ser humano, a inspeção via robôs ganha em segurança e produtividade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar pontos dentro de uma usina de beneficiamento, onde a inspeção operacional pode ser auxiliada por robôs, aumentando a segurança e produtividade do processo.

2.2 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral as seguintes etapas individuais serão realizadas:

- Identificar as etapas de inspeção e qual a lacuna em que os robôs entram para auxiliar.
- Identificar os tipos de robôs e sensores disponíveis, para a realização de uma inspeção que atenda aos requisitos de segurança.

2.3 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em 7 capítulos divididos da seguinte forma. O capítulo 1 é uma introdução ao tema, o capítulo 2 traz os objetivos do trabalho. No capítulo 3 tem-se o referencial teórico do trabalho, com o foco em apresentar as informações sobre o tema contextualizando com o propósito do trabalho relacionado a inspeção, as informações dos processos e pontos de interação com a robótica. O capítulo 4 é referente ao estudo de caso com a identificação de possíveis locais que podem surgir como ponto de auxílio na inspeção via robotizada. Também temos a identificação de robôs construídos para a finalidade de realizar inspeções. No capítulo 5 tem-se a metodologia empregada no trabalho buscando mais segurança para as operações com a inserção de robôs para as inspeções de campo. No capítulo 6 é feita uma discussão sobre como será benéfico a utilização dos robôs nas inspeções e no capítulo 7 tem-se a conclusão do trabalho com a sugestão de trabalhos futuros.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir serão apresentados conceitos sobre a mineração, robótica, sensores e etapa de inspeção operacional.

3.1 Mineração

A mineração é uma área vasta que abrange retirar do solo bens minerais, estes bens passam por processos de beneficiamento para seu enriquecimento de teor e posteriormente a venda ao mercado consumidor.

“Mineração é uma palavra que deriva do latim medieval - mineralis - relativo à mina e a minerais. Da ação de cavar minas criou-se o verbo "minar" no séc. XVI e, em consequência da prática de se escavar fossos em torno das fortalezas, durante as batalhas, com a finalidade de fazê-las ruir, adotou-se a palavra "mina" para designar explosivos militares. A associação das duas atividades deu origem ao termo mineração, visto que a escavação das minas se faz frequentemente com o auxílio de explosivos.” (AMARAL; FILHO).

Para uma classificação internacional realizada a mineração é definida da seguinte forma: “como sendo a extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural: sólido, como o carvão e outros; líquido, como o petróleo bruto; e gasoso, como o gás natural. Nesta acepção mais abrangente, inclui a exploração das minas subterrâneas e de superfície (ditas a céu aberto), as pedreiras e os poços, incluindo-se aí todas as atividades complementares para preparar e beneficiar minérios em geral, na condição de torná-los comercializáveis, sem provocar alteração, em caráter irreversível, na sua condição primária.” (AMARAL; FILHO).

3.1.1 Minério de ferro

O minério de ferro são rochas que se pode extrair economicamente o mineral ferro metálico, “o metal é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, de cuja composição participa com 4,5% em massa, superado apenas pelo oxigênio, o silício e o alumínio. Embora faça parte da composição de vários minerais, apenas alguns destes podem ser economicamente explorados para a obtenção do ferro, quer pela quantidade desse elemento nesses

minerais, quer pela concentração ou distribuição desses minerais nas rochas que constituem os corpos de minério.” (CARVALHO et al., 2013)

Na Figura 01, pode-se observar uma rocha com o nome de Itabirito, que é uma rocha formada por bandamentos de hematita e quartzo.

Figura 1 – Itabirito com bandamentos de hematita e quartzo



Fonte: Mineralienatlas (2012).

3.1.2 Etapas do beneficiamento do minério de ferro

Para realizar a concentração do ferro, o minério tem que passar por algumas etapas de beneficiamento ou tratamento de minério, estas etapas “consistem em operações – aplicadas aos bens minerais – visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem contudo modificar a identidade química ou física dos minerais.” (LINS; LUZ, 2010, p.3).

Entre estas etapas do beneficiamento temos:

- Fragmentação ou cominuição;

- Classificação;
- Concentração;
- Amostragem;
- Disposição de rejeito;

3.1.2.1 Fragmentação ou Cominuição

Fragmentação ou cominuição é o ato de reduzir o tamanho das partículas até que elas estejam dentro de um padrão específico para atender a um processo posterior, que normalmente é o processo de classificação.

Nesta etapa são utilizados equipamentos robustos chamados de britadores e moinhos, estes equipamentos têm a função através da compressão, atrito e cisalhamento, reduzir o tamanho das partículas.

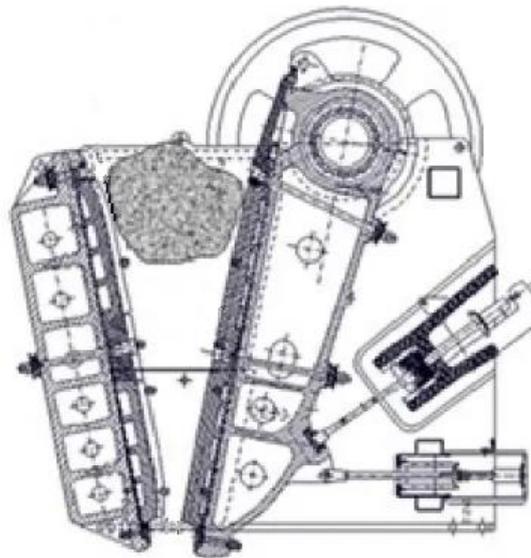
Os britadores são equipamentos que estão inseridos no início do processo de beneficiamento, pois vão atuar na redução do tamanho dos blocos que vem no minério ofertado pela mina, abaixo temos o exemplo de 3 britadores mais utilizados nas operações.

- Britador de mandíbula:

Estes britadores são mais empregados como britadores primários, reduzindo grandes blocos que vem na alimentação da britagem. Este britador é composto por duas mandíbulas, uma fixa e outra móvel, que realiza o movimento de “abrir e fechar” comprimindo o bloco em suas paredes realizando a sua fragmentação.

Na Figura 02, pode-se observar um desenho esquemático de um britador de mandíbula com uma rocha em seu interior.

Figura 2 – Desenho esquemático de um britador de mandíbula com um bloco de minério

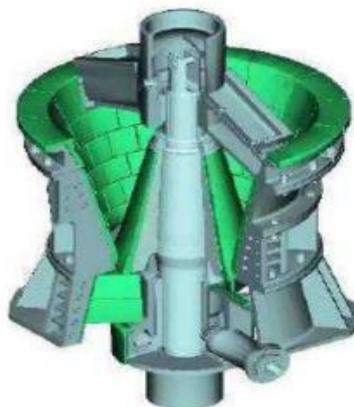


Fonte: Adaptado de Silva (2020).

- Britador giratório:

Estes britadores também são empregados em britagens primárias, mas o grande diferencial dele é que ele consegue receber um volume maior de alimentação, muitas das vezes alimentado direto por caminhões fora de estrada, seu funcionamento consiste em um corpo cônico com um eixo manto no centro que faz o movimento de giro excêntrico, facilitando a fragmentação do minério. Na Figura 03 pode-se observar um desenho esquemático de um britador giratório.

Figura 3 – Desenho esquemático de um britador giratório

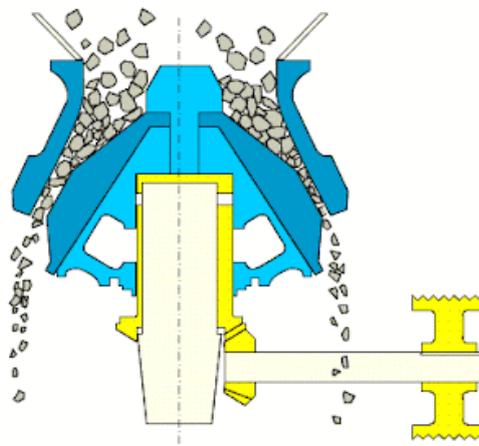


Fonte: Khanbanca (2017).

- Britador cônico:

Este britador tem um modo de operação semelhante ao britador giratório, com a diferença nas paredes do eixo manto e côncavo serem mais paralelas, aumentando o tempo de contato do minério com estas superfícies e uma maior cominuição das partículas. Ele é empregado geralmente em britagens secundárias, terciárias e quaternárias. Na Figura 04 tem-se o desenho esquemático de um britador cônico, com material em sua câmara de britagem.

Figura 4 – Desenho esquemático de um britador cônico



Fonte: Andrade et al. (2018).

3.1.2.2 Classificação

A classificação é a etapa da mineração que consiste em fazer a separação das partículas minerais de acordo com o seu tamanho ou densidade. A classificação pode ser a seco ou a úmido, a seco geralmente é utilizada as peneiras classificadoras que com telas de abertura padrão, classificam o minério de acordo com o seu tamanho, aquelas partículas que passarem pelas telas irão para um processo posterior e aquelas partículas que ficarem retidas, voltam para o processo de cominuição.

Para o processo a úmido pode-se usar também as peneiras classificadoras, como classificadores, peneiras rotativas e ciclones. Dentro do meio aquoso as partículas mais densas se separam das partículas menos

densas, assim ocorrendo sua separação e destinando as duas frações para processos distintos posteriores.

3.1.2.3 Concentração

A etapa da concentração se consiste em separar as partículas de acordo com as características físicas/químicas dos minérios, no caso do minério de ferro dois exemplos de concentração são: por separação magnética ou por flotação.

Para a separação magnética a propriedade física que é utilizada é a partícula ser ferromagnética ou não, através disso as partículas passam por um equipamento que exerce um campo magnético nas partículas, coletando aquelas que são ferromagnéticas.

Na flotação a propriedade física utilizada é a superfície das partículas que podem ser alteradas de acordo com a inserção de reagentes no meio líquido e junção com a presença de bolhas de ar, onde partículas que tem aversão ao ar (hidrofílicas), são transportadas até a superfície, realizando a concentração do bem mineral.

3.1.2.4 Amostragem

A amostragem é uma etapa que consiste em retirar alíquotas pré-determinadas de um volume total que é produzido. Estas alíquotas passarão por etapas de análises físicas e químicas a fim de determinar a granulometria e qualidade, este valor será aquele representativo do volume total produzido.

A amostragem é importante pois ela norteará todo o processo, pois se o processo estiver fora do padrão, alterações dentro dos processos deverão ser realizados como por exemplo: adição de reagentes, adição de água no processo e regulação de britadores.

3.1.2.5 Disposição de rejeito

A disposição de rejeitos é uma etapa que consiste em dispor toda a parte não útil do processo de beneficiamento em barragens, estas barragens

são construídas em grandes áreas para terem a capacidade de receber todo o volume de rejeito. A polpa que é depositada neste “reservatório” sofre a decantação da parte sólida e a água é reaproveitada no processo de beneficiamento. Hoje em dia devido aos cenários de ruptura de barragem, elas estão sendo substituídas por processos de filtragem de rejeito, o que elimina este tipo de empreendimento.

3.1.3 Transporte de minério

Dentro do beneficiamento de minério, o transporte não é considerado uma etapa, pois ela não altera as características do minério, ela apenas transporta o minério entre processos do beneficiamento. Este transporte pode ser via transportadores de correia, chutes de transferências e por bombeamento.

O transporte de minério não é feito apenas dentro do beneficiamento, na mina também há o processo de transporte, seja ele por caminhões ou até mesmo transportadores de correia. Sempre levando ROM (Run Of Mine) de dentro das minas, até as usinas de beneficiamento.

Outro ponto que pode ser considerado como transporte de minério é a ferrovia, que movimenta toda a produção das minas até os clientes internos ou até o porto para que sejam embarcados.

3.1.3.1 Transportador de correia de longa distância (TCLD)

Transportador de correia de longa distância como o próprio nome já diz, são transportadores de correia que ligam distâncias quilométricas, elas são aplicadas quando o ponto inicial e o final estão distantes e o transporte por outra forma não é economicamente sustentável, como por exemplo transporte por caminhões.

Devido a sua grande extensão, os TCLDs passam muitas vezes por locais de difícil acesso, ou de pouca infraestrutura. Eles podem passar sobre rios, estradas, edificações etc. outro ponto de atenção para a construção dos TCLDs, é o relevo do local, pois pode haver montanhas e vales no caminho, o método mais usual para vencer esta variação de relevo é a construção de

túneis na rocha e galerias suspensas, para evitar deslocamentos indesejáveis no projeto de construção de um TCLD.

Abaixo temos na Figura 05, uma foto com um trecho de um transportador de correia de longa distância.

Figura 5 - TCLD



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.1.3.2 Túneis

Túneis são passagens subterrâneas que tem a finalidade de ligar dois pontos, eliminando obstáculos principalmente o relevo. Eles podem ser utilizados para o transporte rodoviário, ferroviário, metrô e para a atividade de mineração. Em minas subterrâneas os túneis formam acessos quilométricos dentro das minas, fazendo toda a infraestrutura para a extração do bem mineral.

Na mineração a céu aberto, túneis também podem ser utilizados, muitas das vezes para ligar minas ou serem utilizados para passar os TCLDs em relevos montanhosos, estes túneis são construídos na própria rocha ou de concreto armado atirantado na estrutura da montanha.

3.1.3.3 Inspeções e segurança dos túneis

Para toda e qualquer que seja a estrutura metálica ou civil, a inspeção é uma atividade primordial para garantir a segurança da estrutura, seja um túnel rodoviário ou feito para passar um TCLD. Os principais riscos envolvendo túneis são: fogo, explosão e escorregamento de taludes/paredes. Por isso uma boa inspeção pode evitar que estes riscos se materializem. Na mineração, os riscos que são mais susceptíveis a acontecer são fogo e escorregamento de taludes/paredes dentro dos túneis.

No caso do fogo ele pode ser gerado através de atrito entre o transportador e um rolete travado por exemplo, que vai aquecendo até que pegue fogo no próprio transportador. No caso de escorregamento de taludes é uma situação mais crítica pois estes deslocamentos podem fazer todo o túnel ruir, ocasionando a parada geral do TCLD. Estes deslocamentos podem ocorrer por falhas no projeto ou situações críticas de clima desfavorável, como um excesso de chuvas em um curto período.

As inspeções entram de modo a evitar que estes riscos ocorram de fato, elas feitas de forma correta podem identificar uma falha no início e tratar de forma preventiva. As inspeções são realizadas de forma visual pelos operadores e periodicamente por geotécnicos.

3.2 Robótica

3.2.1 A importância da robótica

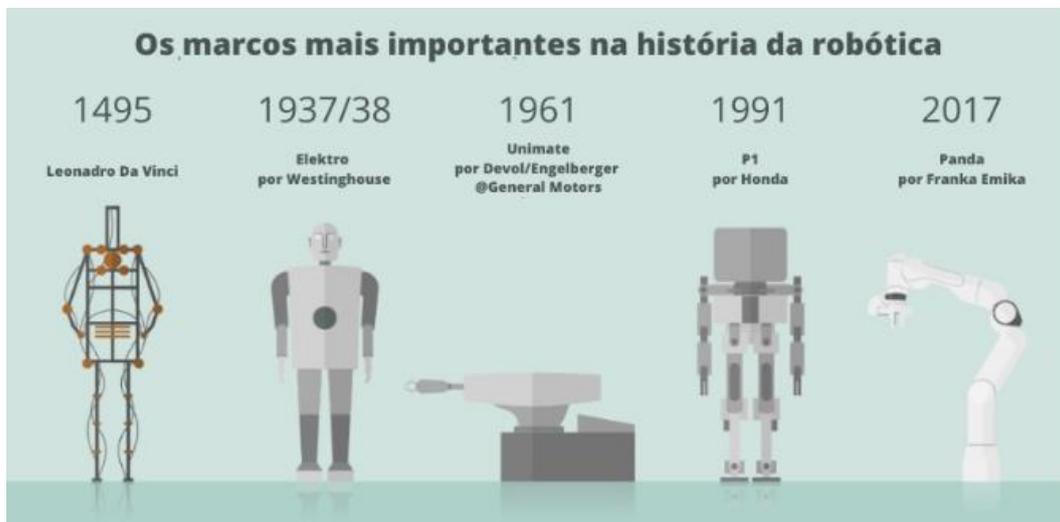
A robótica é uma área em que várias disciplinas têm os seus conceitos e conteúdos difundidos, com o mesmo propósito de manipular robôs, para que assim façam várias tarefas distintas para o auxílio ao ser humano. Estas tarefas podem ser repetitivas, perigosas ou estressantes e que com o apoio de robôs, possam ser realizadas com menor esforço. (POZZEBON, FRIGO, 2013)

O uso da robótica pode ser muito elevado em vários, mas que no mundo da mineração estas aplicações ainda são poucas utilizadas pelo tanto de potencial que pode ser empregado. Muito em si pelo próprio contexto em que a mineração está inserida, cenários de muita exposição a agentes agressivos,

poeira, temperatura, umidade e solos não regulares. Estes cenários imputam um grande desenvolvimento da robótica, com custos altos que podem ser um ponto negativo para uma rentabilidade esperada por esta mina, afetando assim os lucros da empresa. Mas este investimento se torna um aliado na forma em que a robótica pode trazer uma redução de cenários de perigo para o ser humano e aumentar a capacidade produtiva com as tecnologias desenvolvidas e empregadas na mina (COTA et al. 2017).

Logo abaixo temos a Figura 06, com os marcos na história da robótica, iniciando com Leonardo Da Vinci no século XV, com um primeiro esboço de um robô humanoide.

Figura 6 – Marcos na história da robótica



Fonte: Babos (2021).

3.2.2 Processamento da informação robótica

Para um robô chegar ao ponto de tomar uma ação que é produto de toda sua construção ele tem que passar por “etapas” até chegar a este ponto. Primeiro ele tem que ter a percepção do meio, através de sensores que vão captar o que há em volta dele, podem ser sensores do tipo infravermelho, visual, vibração, calor etc. após ele receber estes inputs ele parte para a análise deste meio, ele através de tudo que os sensores captaram faz uma modelagem do que está a sua volta. Assim sabendo o que está a sua volta ele planeja a sua execução ou tarefa a ser cumprida é todo o processamento das

informações coletadas e a forma de como será executada e então parte para a ação que é executar aquilo que foi programado com todos os dados que ele coletou, interpretou e decidiu executar.

3.2.3 Robôs na mineração

Os robôs na mineração não tiveram no início, um espaço para que suas tecnologias sofressem uma evolução significativa no mercado. Mas isso mudou, com a alta competitividade entre as empresas e a busca de uma maior segurança, as empresas mudaram o olhar neste patamar, onde cada vez mais busca-se alternativas na robotização em suas operações, buscando maior competitividade e segurança.

3.2.4 Inspeção visual robotizada

A inspeção visual robotizada é muito importante tendo em vista que, “a avaliação da integridade de equipamentos, tubulações, edificações e instalações é um dos pontos fundamentais para evitar falhas e não conformidades em diversos setores da indústria e da construção civil. A confiabilidade de tais estruturas é fundamental para evitar acidentes com potencial de colocar em risco a vida de pessoas e causar prejuízos financeiros para empresas prestadoras de bens e serviços.

Entretanto, muitas vezes a execução deste tipo de serviço pode ser demorada e custosa, além de trazer riscos à integridade física das pessoas responsáveis por sua realização. E é exatamente para diminuir os custos de operação, reduzir o tempo necessário para sua realização e garantir a segurança de profissionais da área que a Inspeção Visual Robotizada existe, pois utiliza robôs equipados com câmeras e sensores capazes de realizar a identificação de falhas e não conformidades que podem comprometer a operação de negócios em variados setores” (MARTINEZ).

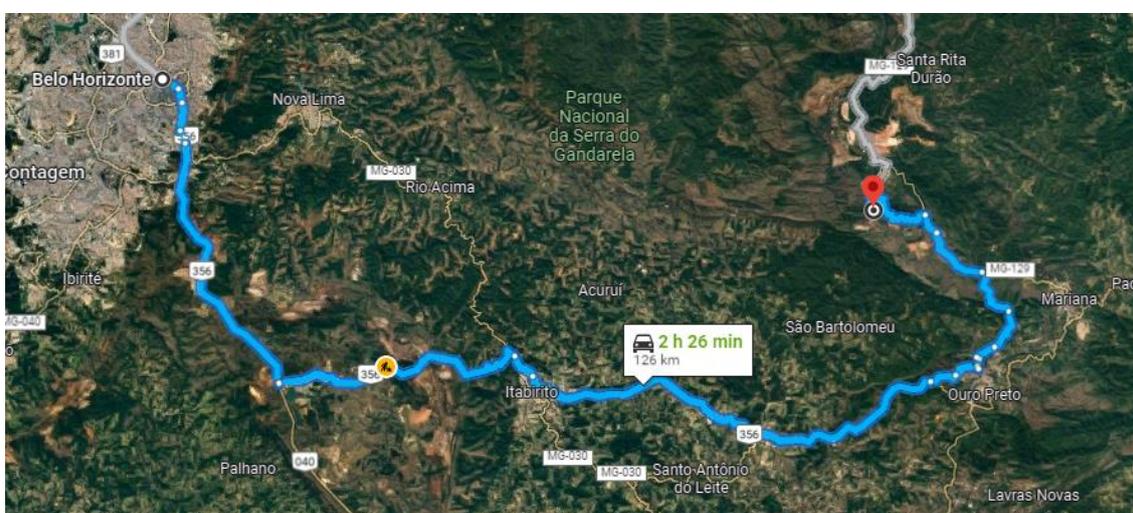
4 ESTUDO DE CASO

4.1 Localização

O Complexo Mariana está localizado no estado de Minas Gerais, entre os municípios de Ouro Preto, Mariana e Catas Altas a cerca de 126km de Belo Horizonte, na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero. Este é composto pelas minas de Timbopeba, Alegria, Fábrica Nova, Fazendão e Capanema.

Abaixo temos a Figura 08, com a localização do complexo Mariana, referente a capital Belo Horizonte.

Figura 7 - Localização e Via



Fonte: Arquivo VALE (2022).

4.2 Mina de Fábrica Nova e Timbopeba

A mina de Timbopeba não tem hoje uma cava de extração ativa, apenas uma usina de beneficiamento de minério. Isso se deve ao fato de sua cava ter chegado no ponto máximo de extração (exaurida). Por isso foi criada uma forma da usina ser alimentada por outra fonte de minério, no caso utilizar a mina de Fábrica Nova como fonte de minério (ROM). Mas as minas ficam separadas por uma distância linear de aproximadamente 9 km, então a forma de resolver isso foi construindo um TCLD que ligasse as duas minas.

Em Fábrica Nova temos a extração do minério na cava existente, o beneficiamento no estágio de britagem primária/secundária e peneiramento, a umidade natural. Após isso o minério é depositado na pilha reguladora que é o pulmão para a alimentação do TCLD. Já em Timbopeba temos todo o processo

de beneficiamento a úmido, onde temos: classificação, ciclonagem, flotação, separação magnética, moagem e filtragem. Todas estas etapas produzem 3 tipos de produtos: o granulado, sinter feed e o pellet feed.

4.3 Britador Primário de Fábrica Nova

O britador primário da planta de Fábrica Nova é um britador giratório, onde a alimentação é via basculamento direto por caminhão e por pá mecânica. O minério que é alimentado tem diferentes características como abrasividade, umidade, teor e granulometria.

O funcionamento do britador se dá de forma que o eixo manto gire em seu eixo com o movimento excêntrico, fazendo movimento de se aproximar e distanciar da parede do côncavo, o minério é triturado por método de compressão, na medida que o minério vai entrando na câmara de britagem ele vai sofrendo a compressão entre as paredes e reduzindo o seu tamanho até ter o tamanho suficiente para passar pela extremidade da saída do britador.

Abaixo temos a tabela 01 que nos mostra as principais vantagens e desvantagens do britador giratório.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do britador giratório

Vantagens	Desvantagens
Projetado para grandes produções	Não são adequados para materiais úmidos e com altos teores de argilas
Dispensa Alimentadores	O sistema de regulação demanda de pessoal especializado para manutenção
Operam com materiais abrasivos, duros e com alta granulometria	Pouco flexível
Baixo custo operacional e grande seção de alimentação	Necessitam de bases reforçadas e relativamente caras
Alta razão de redução das partículas	
Longa durabilidade	

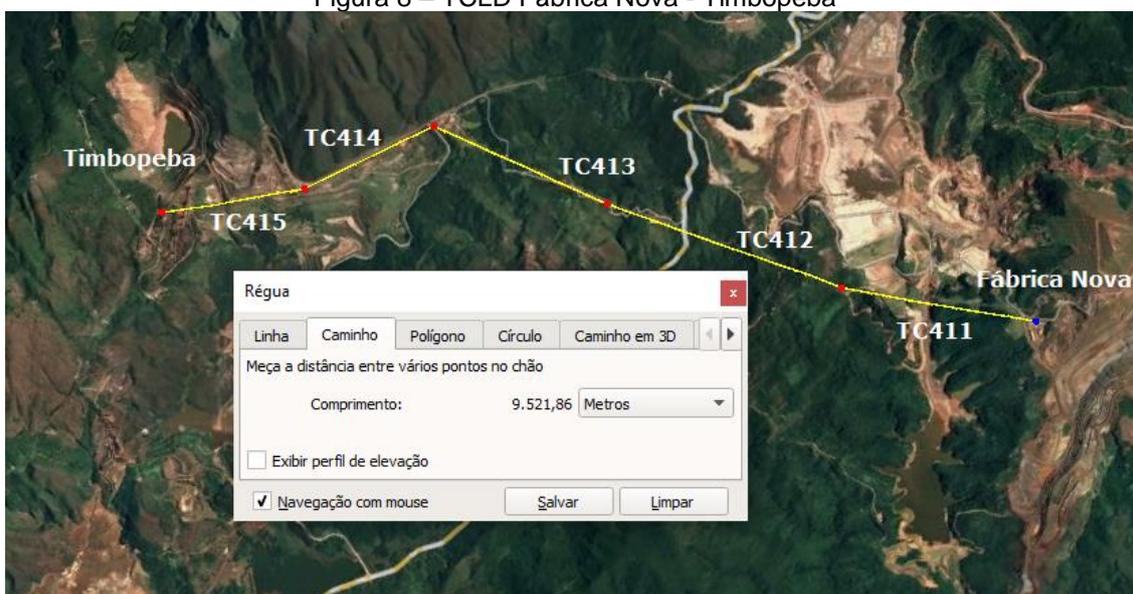
Fonte: Adaptado de Khanbanca (2017).

4.4 TCLD (Fábrica Nova x Timbopeba)

No TCLD ou Transportador de Correia de Longa Distância que liga as minas de Fábrica Nova e Timbopeba é composto por 5 transportadores de correia (TC411, TC412, TC413, TC414 e TC415) e tem uma extensão de 9,5 km.

Na Figura 09, temos a distância do TCLD que liga as minas de Fábrica Nova e Timbopeba.

Figura 8 – TCLD Fábrica Nova - Timbopeba



Fonte: Arquivo VALE (2022).

Abaixo temos a tabela 02 onde temos algumas informações dos 5 TCLDs que ligam Fábrica Nova a Timbopeba.

Tabela 2 – Informações operacionais TCLD

Transportador	Comprimento (m)	Quantidade de acionamentos	Largura do tapete (pol)	Capacidade nominal (t/h)	Capacidade de projeto (t/h)
TC411	2.067	3	42	3.000	3.600
TC412	3.118	3			
TC413	1.469	3			
TC414	1.560	1			
TC415	1.334	2			

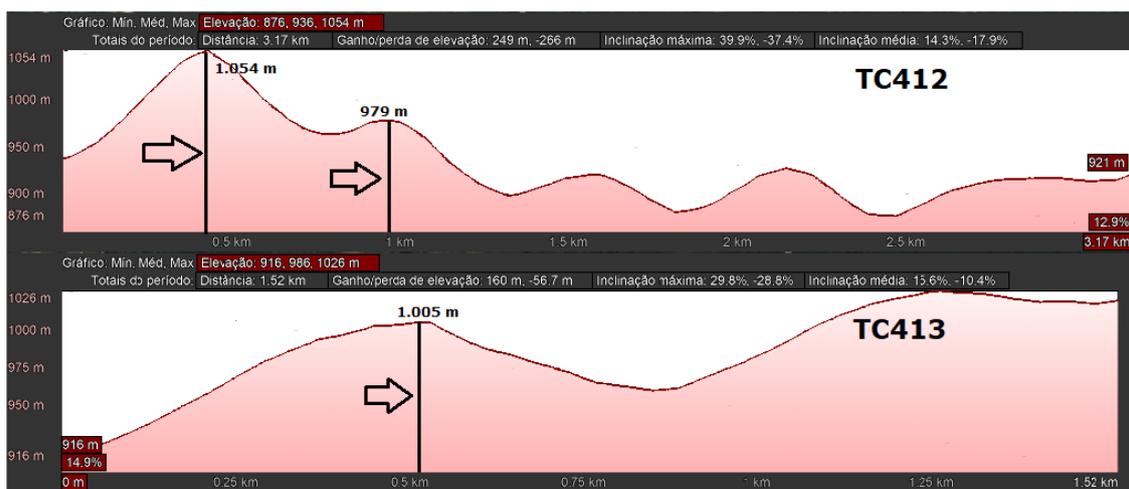
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 Túneis TCLD (FN x TO)

O TCLD que liga a mina de Fábrica Nova a Timbopeba existem 3 túneis, 2 túneis no TC412 e 1 túnel no TC413, estes túneis foram desenvolvidos devido ao relevo do local, onde a região é uma região montanhosa e passar por cima da montanha ou circular a mesma não era viável.

Abaixo temos a Figura 10, onde podemos observar o relevo da região onde estão construídos os 3 túneis do TCLD de Fábrica Nova a Timbopeba.

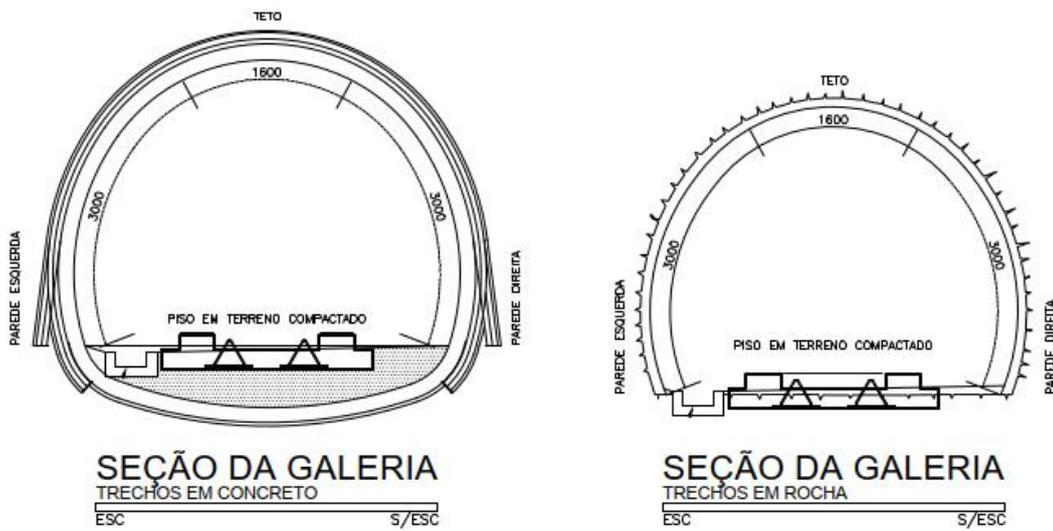
Figura 9 – Relevo onde se situa os túneis do TCLD



Fonte: Arquivo VALE (2022).

Os túneis foram construídos na sua maior parte de concreto armado, mas houve situações em que a rocha dentro da montanha era competente o suficiente para ser escavada e não necessitar de reforço de concreto. Abaixo temos uma figura mostrando qual é a forma construtiva por concreto e na própria rocha. Na Figura 11, temos como são as seções dos túneis em diferentes locais, construção em trechos de concreto e em rocha.

Figura 10 – Seção de corte dos túneis em concreto e rocha



Fonte: Arquivo Vale (2022).

Abaixo temos a Figura 12 de como é a estrutura do túnel em concreto armado.

Figura 11 – Túnel na porção de concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5 Inspeção

A inspeção é uma etapa importante no processo mineral, pois a partir dela se verifica anomalias, distúrbios no processo, falhas, itens de segurança como: falta de proteções de partes móveis, dentre outros. A inspeção pode ser preventiva, que é aquela que detecta a anomalia antes que ela vire uma falha ou pode ser uma inspeção de pós falha, onde após ocorrer uma falha é feita toda uma inspeção no local a fim de investigar o ocorrido para que se possa tomar as melhores decisões para reparo e atuação, sem que exponha nenhuma pessoa a riscos.

No ponto de vista para britadores a inspeção pode ocorrer de várias maneiras tanto visual, auditiva e tato. Nas operações os britadores são equipamentos que causam distúrbios em sua volta quando não estão operando da forma correta, seja excesso de vibração e ruídos anormais. O operador em sua inspeção faz o acompanhamento e aciona a equipe de manutenção, quando verifica que algo está anormal. Há algumas situações não rotineiras em que a inspeção deve ser realizada nos britadores, que são quando eles param por sobrecarga com material dentro da câmara de britagem, esta é uma ocorrência que dependendo da situação não há como saber em um primeiro momento o que fez ocorrer a sobrecarga, por isso a inspeção inicial junto com alguns testes, podem indicar o travamento com um material não britável por exemplo.

A inspeção em um túnel não é diferente, por ser um local de acesso restrito, a inspeção deve ocorrer de forma mais minuciosa possível, a fim de verificar todas as situações possíveis como: trincas, deslocamento, infiltração, equipamentos danificados e verificar se não há presença de animais peçonhentos. A inspeção de modo bem realizada evita que os riscos se materializem, fazendo com que haja a paralização do equipamento por tempo indeterminado. O olhar do executante da inspeção é primordial neste primeiro momento.

4.6 Possibilidades de robôs na inspeção

Os robôs são equipamentos que estão na nossa realidade e que podem ser utilizados de várias formas no mundo cotidiano, abaixo são listados modelos já existentes com o foco em realizar inspeções.

4.6.1 ROSI

ROSI (Robô para Serviços de Inspeção) é um robô que foi construído com a função de ser um robô de inspeção, entrando em locais que para o ser humano pode ser de difícil acesso ou até mesmo insalubres. Com seus sensores acoplados no seu braço manipulador ela pode fazer uma varredura do local fazendo captação de imagens, ruídos, vibrações para análise e tomada de decisões.

Ela é um robô modulado sobre rodas ou esteiras, podendo alterar a sua configuração dependendo do terreno, pesa em torno de 70 kg, com seu braço móvel podendo ter 6 ou mais graus de liberdade, ela pode ser tele operada por rede sem fio ou cabeada, variando de acordo com o trabalho proposto.

Abaixo temos a Figura 13, com a imagem do Robô ROSI em campo, para teste.

Figura 12 – ROSI



Fonte: Elaborado pelo autor.

A ROSI pode ter vários sensores embutidos em sua configuração, dependendo da proposta de inspeção a ser realizada, ela pode utilizar os sensores abaixo:

- Câmera RGB;
- Câmera térmica;
- Microfone;
- Sensor de toque;
- LiDAR;
- GPS;

4.6.2 Drones

Drones são equipamentos que podem ser controlados remotamente pilotado por uma pessoa em solo, os drones podem ter diversos tamanhos e modelos, são utilizados em diversas áreas como trabalhos audiovisuais em eventos, na área militar, monitoramento e para inspeções em áreas com vazamentos radioativos.

Os drones podem ser equipados com os seguintes sensores:

- Câmera RGB;
- Câmera infravermelho;
- Sensores multiespectrais;
- Sensores hiperespectrais;
- Sensor de espectro de frequência.

Na Figura 14, temos um exemplo de um drone utilizado para observação.

Figura 13 – Drone utilizado para observação



Fonte: Ramirez (2019).

4.6.3 EspeleoRobô

O EspeleoRobô foi desenvolvido com a função de fazer inspeções/investigação em cavidades, afim de mapear e estes locais que ficam próximas as operações da mineração. Ele pode se movimentar a base de esteiras, rodas ou pernas dependendo do terreno a ser vencido, seu tamanho e versatilidade o fez ser utilizado em vários tipos de serviços como inspeção em tubulações onde o ser humano não consegue inspecionar sem desacoplar todos os tubos.

O EspeleoRobô pode ser equipado com:

- Sistema de iluminação;
- Câmera RGB;
- Câmera infravermelho;

Na Figura 15, podemos observar o robô de inspeção EspeleoRobô, pronto para uma inspeção de campo.

Figura 14 – EspeleoRobô na configuração com rodas



Fonte: IBRAM (2021).

4.6.4 Anymal

O Anymal é um robô criado por uma empresa Suíça e com o objetivo de realizar inspeções de forma autônoma, ele é montado sobre 4 patas que dão mobilidade de se locomover em diversas áreas, podendo subir e descer escadas e vencer obstáculos no percurso.

Sensores que podem embarcar no Anymal:

- Câmera RGB;
- Câmera térmica;
- Dispositivos de iluminação;
- Sensor de ruído;
- GPS;
- LiDAR;

A Figura 16, nos mostra uma foto do Robô Anymal, um robô quadrupede que pode vencer vários obstáculos.

Figura 15 – Anymal



Fonte: The Robot Report (2019).

5 METODOLOGIA

5.1 Descrição do problema

A ideia deste trabalho vem em paralelo da busca da melhoria operacional e segurança das pessoas, operações e dos processos.

Para a inspeção dos britadores, o ponto de maior atenção dentro da mineração é quando ocorre a parada do britador pôr sobrecarga com a câmara de britagem cheia de material, no momento inicial não há a certeza do que causou esta sobrecarga, pode ser blocos compactos, mas também um material não britável como por exemplo uma unha de carregadeira.

Nas inspeções em túneis, o operador deve percorrer todo o túnel verificando aspectos que estejam fora do normal como: pontos de excesso de sujidade e condições físicas dos túneis. Outro ponto de inspeção no interior dos túneis é o item relativo à estabilidade, parte civil e percolação de água. Caso vejam alguma alteração de cenário entre uma inspeção e outra eles acionam o líder imediato para verificar o ocorrido.

A entrada de uma inspeção robotizada vem a melhorar as inspeções que são realizadas, pois com o acréscimo do robô calibrado, pode-se verificar padrões pré-determinados, evitar que os operadores entrem em locais que podem oferecer algum risco. Com estas análises as tomadas de decisões virão a nortear as ações futuras com mais exatidão seja em inspeções em túneis e desobstrução em britadores.

5.2 Metodologia utilizada no estudo do problema

O presente projeto foi estruturado em dois temas muito importantes para a segurança das pessoas na área de atuação.

Para a inspeção em britadores após a parada por sobrecarga de material, temos o nosso maior risco dentro da operação de usina, que é a desobstrução de britadores, esta atividade é uma atividade de risco alto e que já houve fatalidade na área da VALE. Então a partir de toda a identificação da causa da falha, pode-se traçar toda a estratégia de como proceder para a desobstrução do equipamento, não colocando nenhum operador na faixa do risco.

Para a inspeção dos túneis a base de segurança está ligada ao HIRA (Hazard Identification and Risk Assessment) ou tradução para o português: Identificação de perigos e avaliação de riscos. O HIRA é uma ferramenta que foi implantada na Vale com o objetivo de identificar riscos que podem levar 2 ou mais pessoas a óbito ou paralisar o empreendimento mineral por questões públicas/judiciais. O TCLD que liga a britagem de Fábrica Nova a Timbopeba é um TCLD classificado como muito alto na matriz de risco avaliada, há vários controles para que o risco de colapso do TCLD não se materialize e um deles é a inspeção visual operacional em todo o TCLD. Para a execução visual o operador vai em vários pontos do transportador e verifica as condições operacionais do equipamento. Dentro dos túneis a inspeção verifica além das questões operacionais, inspeciona também a integridade do túnel. O operador não tem a expertise de um engenheiro civil, mas pode em um primeiro momento identificar pontos discordantes em suas inspeções.

Na Figura 17, temos a matriz de criticidade utilizada para realizar as classificações dos riscos, dentro da VALE.

Figura 16 – Matriz de criticidade Risco de Colapso do TCLD



Fonte: Arquivo Vale (2022).

5.3 Utilização em campo dos robôs

5.3.1 Utilização em inspeções em britadores obstruídos

Para a utilização dos robôs em britadores obstruídos como o modo de falha de sobrecarga, deve-se entender o porquê os britadores deram este

modo de falha, podendo ser por minério com alta resistência a fragmentação, sistema de acionamento com polias ou correias gastas ou um não britável dentro da câmara de britagem. No caso do material não britável, são peças que normalmente se soltam dos equipamentos de mina como capa de unha de escavadeira ou pá mecânica e haste de perfuratriz, estes materiais são ultra resistentes e por isso quando caem no britador ele não tem a força para rompê-los e trava em sobrecarga.

Estes tipos de falhas geram um grande cuidado e atenção, todas as vezes em que este modo de falha acontece, uma equipe multidisciplinar é convocada para analisar o caso, especialistas mecânicos/elétricos, engenheiros, supervisores são acionados e discutem sobre a forma mais segura de executar a atividade. Mas há o problema de saber o que parou o britador, se foi por minério ultracompacto ou algum não britável, nesta hora os robôs entram no auxílio da inspeção interna sob o britador. Abaixo na figura 18, temos exemplos de paradas de britadores com o modo de falha de sobrecarga.

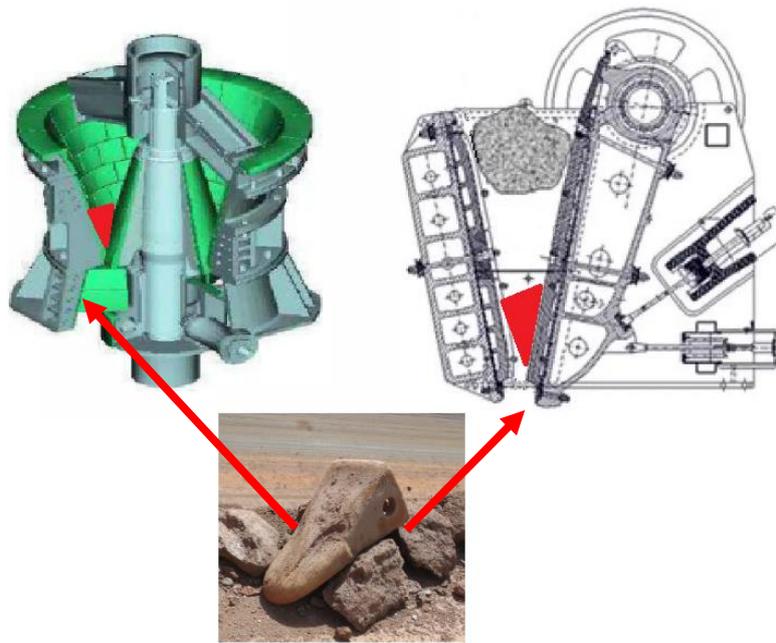
Figura 17 – Paradas com material na câmara de britagem (britador giratório e de mandíbula)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Abaixo temos a Figura 19 uma representação esquemática de como um elemento não britável fica alojado dentro da câmara de britagem, causando a sobrecarga nos equipamentos.

Figura 18 – Desenho esquemático de paradas por material não britável



Fonte: Adaptado de Adaptado de Silva (2020) e Khanbanca (2017).

Após toda a avaliação preliminar dos fatos, o robô será utilizado na inspeção interna sob o britador, eles podem entrar por baixo da câmara de britagem e com seus sensores, fazerem uma leitura da saída de descarga do britador e indicar se o equipamento parou por sobrecarga com minério ultracompacto ou com um material não britável. Através de suas câmeras poderá ser visto pelos profissionais o que travou e qual a posição dele dentro da câmara de britagem, assim com esta avaliação poderá se fazer todo o planejamento de como será retirado este material e quais recursos serão necessários para tal atividade.

Abaixo temos a Figura 20 com o local por onde o robô deve entrar para realizar a inspeção sob um britador giratório, o robô entraria com um suporte de um carrinho móvel que se movimenta sobre trilhos abaixo do britador, realizando assim a inspeção.

Figura 19 – Visão sob um britador giratório



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.3.2 Utilização em inspeções em túneis

Para as inspeções em túneis, os robôs percorreriam toda a extensão dos túneis fazendo avaliações físicas de toda a estrutura, identificando com mais precisão qualquer tipo de situação que indicasse uma possível falha. Estas inspeções são de caráter fundamental para a continuidade do negócio e segurança operacional. Os túneis são locais onde temos um espaço reduzido, iluminação deficiente e há a possibilidade de ter animais peçonhentos.

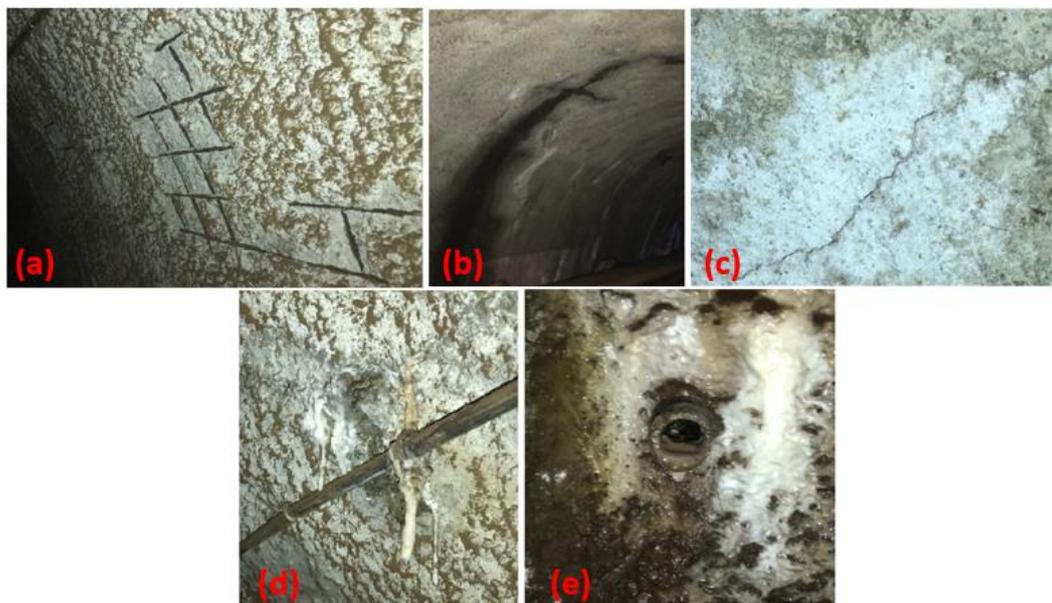
Todos estes fatores contribuem para que pontos possam passar despercebidos em uma inspeção criteriosa. Então com o auxílio do robô, podemos ter todo um mapeamento dos túneis em detalhes, ele pode através de seus sensores detectar falhas como trincas e desgaste do concreto, através destas inspeções poderá ser observado se estas falhas podem estar evoluindo com o tempo, servido assim como base para acionar a cadeia de ajuda de especialistas para controlarem a falha em seu início. Este tipo de ação deixará a operação dos túneis mais segura e confiável.

Outro ponto de inspeção importante também dentro dos túneis, são pontos de sujeira dentro do túnel, essa sujeira pode ocorrer por desalinhamentos ou furos no tapete do transportador. Essa sujeira pode acarretar em travamento de rolos de retorno e como consequência um

superaquecimento, podendo levar a um incêndio no equipamento. Então se identificado essa sujidade, já se abre uma ação para a equipe de limpeza atuar e eliminar esta ocorrência. Situações de incêndio são sempre complicadas de intervir, em caso de incêndio dentro de um túnel, a situação se potencializa ainda mais, pois o local é restrito e dificulta o combate das equipes contra as chamas.

Abaixo temos a Figura 21, com as várias situações em que os robôs podem identificar e analisar em campo dentro dos túneis.

Figura 20 – Pontos de observação em campo no interior do túnel: (a) ferragem exposta, (b) Infiltração, (c) Trinca, (d) Fissuras com eflorescências em região de infiltração e (e) Drenos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

6 DISCUSSÕES

Podemos afirmar que os robôs têm uma enorme gama e versatilidade no campo da inspeção. O resultado deste trabalho nos mostra que os robôs podem ser utilizados em inspeções com o foco em segurança das pessoas que realizam a atividade de inspeção.

No meu ponto de vista para o risco da inspeção em britadores com sobrecarga, o tipo de robô a ser utilizado pode variar de acordo com o layout que há nas estruturas de entrada por baixo do britador, por termos vários modelos e tamanhos de britador, o layout varia e com isso vários tipos de robôs podem ser utilizados. Dentre todos os mencionados, o mais recomendado é o espeleorobô, pois ele é um robô de pequeno porte e pode entrar em locais de curto espaço e locomoção restrita.

Para a inspeção dos túneis do TCLD, no meu ponto de vista o robô mais indicado seria a ROSI, pois ela tem o braço robótico que pode se mover em diversas direções e conseguir abranger uma área maior com mais efetividade, além do mais ela pode vencer com mais facilidade o terreno irregular dentro dos túneis.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho é apresentado modelos de robôs utilizados em inspeção na indústria e locais onde estes robôs auxiliariam nas inspeções operacionais em dois modos distintos. Para os britadores, os robôs seriam utilizados em momentos de parada por sobrecarga por obstrução, em que não se sabe o que causou a falha. Para os túneis do TCLD seriam utilizados para a inspeção interna visando a segurança da estrutural e pessoal, garantido a confiabilidade operacional.

A entrada dos robôs nestas inspeções reduz a exposição dos empregados ao risco, sendo que com a inspeção robotizada pode-se ter uma avaliação mais criteriosa em que o robô pode fazer um sensoramento do local e repassar informações importantes sobre as inspeções. Sendo assim as tomadas de decisão serão mais rápidas, efetivas e assertivas quanto a falha a ser identificada. A troca do homem pela máquina, potencializa a margem de ganhos na segurança e produtividade, obtendo resultados aos quais o operador não conseguira chegar utilizando os seus sentidos, o robô parametrizado e com toda a sua estrutura embarcada dará resultados superiores com mais exatidão, garantindo a eficiência operacional.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros é sugerido o estudo de qual modelo de robô a ser utilizado e quais sensores seriam mais adequados para cada atividade, pois para cada inspeção a função é diferente na sua característica de se realizar. Para a inspeção em britadores, o layout das instalações de britagem varia de uma para outra, então o tipo de robô pode variar de acordo com a instalação, essa determinação se daria pela condição de entrada e saída do equipamento, juntamente com o tipo de sensor a ser utilizado. Para os túneis a inspeções não se há a interferência de layout de entrada e saída, mas tem a variância de quantos sensores serão embarcados e qual tipo de robô suportaria este tipo de inspeção.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Antônio José Rodrigues Do; FILHO, Clóvis Ático Lima. **Mineração. Índice de Geologia e Mineração**. Disponível em: <https://www.dnmpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>. Acesso em: 08 set. 2022.

ANDRADE, Vinicius et al. Processo de Britagem. **Tracon**, 2018. Disponível em: <https://traconvil.blogspot.com/2018/07/processo-de-britagem.html>. Acesso em: 02 out. 2022.

BABOS, Flávio. O que é a Robótica?. Robótica: Definição, Aplicações e Fatos, 2021. Disponível em: <https://flaviobabos.com.br/robotica/>. Acesso em: 15 set. 2022.

CARVALHO, Pedro Sergio Landim de et al. Minério de ferro: Geologia do minério de ferro. **Insumos Básicos**, 2014. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4802/1/BS%2039%20min%c3%a9rio%20de%20ferro_P.pdf. Acesso em: 19 set. 2022.

COTA, et al. ROBÓTICA NA MINERAÇÃO. **18º Simpósio de Mineração**, vol. 47, num. 2 (2017). p. 359-370. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Torre/publication/320725502_ROBOTICA_NA_MINERACAO/links/5a00a412a6fdcc82a3131ae7/ROBOTICA-NA-MINERACAO.pdf . Acesos em: 14 fev. 2023.

IBRAM. Vale investe em robôs para retirar empregados de situação de risco e aumentar a segurança de suas operações. **IBRAM**, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/vale-investe-em-robos-para-retirar-empregados-de-situacao-de-risco-e-aumentar-a-seguranca-de-suas-operacoes/>. Acesso em: 15 out. 2022.

KHANBANCA, Lucas Albano Anibal. Britagem. **Slide Share**, 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/LucasAlbanoAnibalKha/alua3-20171>. Acesso em: 01 out. 2022.

LINS, Fernando Antonio Freitas; LUZ, Adão Benvindo da; **TRATAMENTO DE MINÉRIOS: INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE MINÉRIOS**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010, p. 3).

MARCHIORI, Lucas. Robótica: o que é, 5 exemplos práticos e como entrar na área. **Trybe**, 2022. Disponível em: <https://blog.betrybe.com/tecnologia/robotica-tudo-sobre/>. Acesso em: 12 out. 2022.

MARTINEZ, Paulo Augusto. Inspeção Visual Robotizada: Descubra O Que É E Quais Suas Vantagens. **Advanced Services Provider**. Disponível em: <https://aspeng.com.br/news/2020/11/17/inspecao-visual-robotizada-vantagens/>. Acesso em: 22 out. 2022.

MINERALIENATLAS. Itabirit (itabirite). **Mineralienatlas**, 2012. Disponível em: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/RockData?lang=de&rock=itabirite> . Acesso em: 28 jan. 2023.

OTTONI, André Luiz Carvalho. Introdução à Robótica. **Material de Estudo**. 2010. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/orcv/materialdeestudo_introducaoarobotica.pdf. Acesso em: 29 jan. 2023.

POZZEBON, Eliane; FRIGO, Luciana Bolan. Robótica no Processo de Ensino e Aprendizagem. **ICBL2013 – International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning**, p.104-107. Disponível em : https://www.online-engineering.org/icbl-archives/proceedings/2013/papers/Contribution42_a.pdf . Acesso em: 14 fev. 2023.

RAMIREZ, Erik et al. EEUU advierte que los drones chinos pueden ser usados para espiar. **Emisoras Unidas**, 2019. Disponível em: <https://emisorasunidas.com/2019/05/21/eeuu-advierete-sobre-los-drones-chinos/>. Acesso em: 05 out. 2022.

SILVA, John Weslei Souza. Tudo Que VC Deveria Saber Sobre Seu Britador de Mandíbulas. **SCRIBD**, 2020. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/444937119/Tudo-que-vc-deveria-saber-sobre-seu-britador-de-mandibulas>. Acesso em: 28 set. 2022.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci et al. Os 6 Principais Tipos de Robôs Industriais. **Citisystems**, 2019. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>. Acesso em: 12 out. 2022.

THE ROBOT REPORT. Robô com pernas C ANYmal é otimizado para inspeção industrial, diz ANYbotics. **The Robot Report**, 2019. Disponível em: <https://www.therobotreport.com/anymal-c-legged-robot-optimized-industrial-inspection/>. Acesso em: 22 out. 2022.