



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



JOÃO FILIPE SILVA DO NASCIMENTO

**METODOLOGIA KAIZEN APLICADO PARA REALIZAÇÃO DE
MELHORIAS EM UMA TUBULAÇÃO DE AÇO RELACIONADOS A
TRÊS TIPOS DE REVESTIMENTOS: POLIURETANO, BORRACHA E
BORRACHA COM CERÂMICA**

OURO PRETO - MG
2023

JOÃO FILIPE SILVA DO NASCIMENTO

jpcsilvan@gmail.com

**METODOLOGIA KAIZEN APLICADO PARA REALIZAÇÃO DE
MELHORIAS EM UMA TUBULAÇÃO DE AÇO RELACIONADOS A
TRÊS TIPOS DE REVESTIMENTOS: POLIURETANO, BORRACHA E
BORRACHA COM CERÂMICA**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro
Preto como requisito para a obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Sávio Sade Tayer

**OURO PRETO – MG
2023**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N244m Nascimento, Joao Filipe Silva do.

Metodologia kaizen aplicado para realização de melhorias em uma tubulação de aço relacionados a três tipos de revestimentos [manuscrito]: poliuretano, borracha e borracha com cerâmica. / Joao Filipe Silva do Nascimento. - 2023.
76 f.

Orientador: Prof. Me. Savio Sade Tayer.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Minas e recursos minerais. 2. Revestimentos. 3. kaizen, Método. 4. Tubulação. I. Tayer, Savio Sade. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

João Filipe Silva do Nascimento

Metodologia Kaizen aplicado para a realização de melhorias em uma tubulação de aço relacionados a três tipos de revestimentos: poliuretano, borracha e borracha com cerâmica.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de graduação.

Aprovada em 13 de julho de 2023.

Membros da banca

Msc Sávio Sade Tayer - Universidade Federal de Ouro Preto
Dsc Prof. Washington Luis Vieira da Silva - Universidade Federal de Ouro Preto
Dsc Prof. Diogo Antônio de Sousa - Universidade federal de Ouro Preto

Sávio Sade Tayer, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/07/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Sávio Sade Tayer, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/08/2023, às 18:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0572518** e o código CRC **DAE12D8B**.

Dedico essa conquista primeiramente a Deus que sempre me abençoou e também a minha família que serviu de apoio diante as dificuldades do caminho.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, João e Maria de Fátima pelo apoio incondicional.

Ao meu irmão Pedro por sempre me apoiar a seguir em frente e não desistir.

Ao meu orientador Sávio pela oportunidade de aprendizado gigantesco e por sempre estar disposto a tirar minhas dúvidas com maior carinho e cuidado do mundo.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho e crescimento profissional.

Aos meus amigos que dividiram casa comigo em Ouro Preto, em especial Pedro, Fabio, Luís Otavio, Adrian, Ayron e Eduardo que sempre incentivaram o meu desenvolvimento.

Ao melhor grupo de estudo formado por Lucas, João Victor e Danilo, que juntos fizeram as dificuldades parecerem fáceis de serem resolvidas.

E aos companheiros e amigos atuante na empresa em estudo, que me ajudaram e me receberam sempre de portas abertas para o desenvolvimento deste trabalho.

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos”.

Paulo Beleki

RESUMO

A indústria de mineração é uma das mais importantes do Brasil devido à rentabilidade gerada ao país. As tubulações de aço são amplamente utilizadas em áreas de mineração e estão sujeitas a diferentes formas de desgaste devido ao fluido passante em seu interior e que ocasionam a diminuição da vida útil dos mesmos. A utilização de diferentes tipos de revestimentos em tubulações são formas de evitar o desgaste, aumentar a durabilidade e obter um maior rendimento produtivo. O poliuretano, a borracha e a borracha com cerâmica são alguns dos revestimentos aplicados a tubulações de aço. A escolha do revestimento ideal diante de determinadas condições operacionais de trabalho determina a durabilidade alta ou baixa de uma linha de tubulação. A utilização da metodologia kaizen pode ser responsável por fazer com que uma tubulação revestida conte com diversas melhorias. Neste trabalho foi realizado a análise de fabricação de cada tubulação de aço revestida através de acompanhamento do processo produtivo dentro de uma empresa fabricante de peças e equipamentos para mineradoras. Dentro desta mesma empresa ocorreu, através de conversas com diferentes profissionais experientes e qualificados, a coleta de múltiplos casos que envolvem o kaizen como metodologia para melhorias relacionadas a tubulações revestidas. Em uma média geral de situações, o revestimento de borracha com cerâmica é o que apresenta maior custo, porém o que garante a maior vida útil da linha, em contra partida, o revestimento de borracha é que apresenta menor custo, porém o que apresenta menor durabilidade de vida útil. Diante das muitas particularidades que podem conter nas linhas de tubulações de maneira a ocasionar impacto na escolha do revestimento ideal, a metodologia kaizen é uma maneira de aplicar melhorias contínuas e possibilitar com que a vida útil de uma tubulação possa ter um aumento considerável e consequentemente ocasionar uma margem de lucro maior para a empresa.

Palavras-chave: Mineração. Revestimentos. Tubulações. Poliuretano. Borracha. Cerâmica.

ABSTRACT

The mining industry is one of the most important in Brazil due to the profitability generated in the country. Steel pipes are widely used in mining areas and are subject to different forms of wear due to the fluid passing through them, which cause a decrease in their useful life. The use of different types of coatings on pipes are ways to avoid wear, increase durability and obtain a higher production yield. Polyurethane, rubber and rubber with ceramics are some of the coatings applied to steel piping. The choice of the ideal coating for certain operational working conditions determines the high or low durability of a piping line. The use of the kaizen methodology can be responsible for making a coated pipe count with several improvements. In this work, the manufacturing analysis of each coated steel pipe was carried out by monitoring the production process within a company that manufactures parts and equipment for mining companies. Within this same company, through conversations with different experienced and qualified professionals, the collection of cases involving kaizen as a methodology for improvements related to coated pipes. In a general average of situations, the rubber coating with ceramic is the one that has the highest cost, but which guarantees the longest useful life of the line, in contrast, the rubber coating is the one that has the lowest cost, but which has the lowest durability of useful life. In view of the many peculiarities that can be contained in the piping lines in order to cause an impact on the choice of the ideal coating, the kaizen methodology is a way to apply continuous improvements and allow the useful life of a piping to have a considerable increase and consequently lead to a greater profit margin for the company.

Keywords: Mining. Coatings. Pipes. Polyurethane. Rubber. Ceramics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Relação de mineradoras em território brasileiro.....	7
Figura 2 - Fluxograma de tratamento de minérios	8
Figura 3 - Fluxograma da Usina de Beneficiamento da Mina.....	11
Figura 4 - Principais Materiais para tubos.....	13
Figura 5 - tubos com costura helicoidal.....	17
Figura 6 - tubos com costura longitudinal	18
Figura 7 - Processo de laminação	19
Figura 8 - Processo de extrusão de tubos	19
Figura 9 - Processo de fundição de tubos	20
Figura 10 - Tubulação de aço revestida de PU	21
Figura 11 - Classificação dos processos de desgaste por modos de desgaste	24
Figura 12 - Desgaste por adesão.....	25
Figura 13 - Técnicas de aplicação de revestimento	28
Figura 14 - Placas de borracha com cerâmica	33
Figura 15 - Fluxograma geral da monografia.....	35
Figura 16 - Fluxograma de processos da empresa em estudo	38
Figura 17 - Flanges catalogados segundo norma ANSI B16.5.....	40
Figura 18 - Flanges soltos catalogados.....	41
Figura 19 - Tubos com flanges soldados	42
Figura 20 - Equipamento centrífuga.....	43
Figura 21 - Tubulação de aço revestida de poliuretano.....	44
Figura 22 - Tubulação de aço revestida de borracha e cerâmica.....	46
Figura 23 - Autoclave	48
Figura 24 - Tubulação de aço revestida de borracha	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais minerais portadores de ferro e seus respectivos teores.....	10
Tabela 2 - normas relacionadas a tubulações industriais.....	14
Tabela 3 - Comparações entre elastômeros não vulcanizados e vulcanizados.....	30
Tabela 4 - Principais Tipos De Borracha Sintéticas	31
Tabela 5 - Classificação dos produtos cerâmicos	32
Tabela 6 - Variáveis e indicadores da pesquisa	36
Tabela 7 - Informações Técnicas Poliuretano	44
Tabela 8 - Informações Técnicas Cerâmica De Alta Alumina.....	47
Tabela 9 - Informações Técnicas Borracha	49
Tabela 10 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 1	51
Tabela 11 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 2	51
Tabela 12 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 3	52
Tabela 13 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 4	53
Tabela 14 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 5	54
Tabela 15 - Análise comparativa entre os revestimentos	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Mineração	6
2.1.1	Minério	7
2.1.2	Minério de ferro.....	9
2.2	Tubulações.....	11
2.2.1	Principais materiais para tubos	12
2.2.2	Normas para tubos	14
2.2.3	Métodos de fabricação de tubos	17
2.2.4	Tubulações revestidas.....	20
2.3	Desgaste.....	23
2.4	Revestimentos.....	27
2.4.1	Poliuretano.....	28
2.4.2	Borracha.....	29
2.4.3	Cerâmica.....	32
2.4.4	Borracha com cerâmica	33
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	Tipo de pesquisa	34
3.2	Materiais e métodos.....	35
3.3	Variáveis e indicadores.....	36
3.4	Instrumento de coleta de dados	36
3.5	Tabulação de dados	36
3.6	Considerações finais do capítulo	37
4	RESULTADOS	38
4.1	Empresa em estudo	38
4.2	Processo de fabricação de tubulações de aço revestidas	39

4.2.1	Tubulações revestidas.....	39
4.3	Estudos de casos	50
4.3.1	Caso 01	50
4.3.2	Caso 2	51
4.3.3	Caso 3	52
4.3.4	Caso 4	52
4.3.5	Caso 5	53
4.3.6	Análise dos casos.....	54
5	CONCLUSÃO.....	57
5.1	Recomendações	57
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Com a intensificação da competitividade de mercado, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de ocorrência de falhas nos produtos, e paralelamente, houve um crescimento na demanda por equipamentos e sistemas com melhor desempenho que apresentem um baixo custo e ao mesmo tempo, possuam uma vida útil considerável. O aumento da confiabilidade de equipamentos se dá devido à análise e minimização das falhas que podem ocorrer durante o processo (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Segundo Bentes (2007), a crescente demanda de matéria prima tem ocasionado a construção de numerosas instalações de transporte de material que apresentem um maior grau de confiabilidade de projeto, na fabricação e na elaboração destes sistemas que envolvem alto risco a fim de evitar falhas nos mesmos. A utilização de tubulações para a realização deste transporte ganha espaço na área mineradora por ser uma alternativa prática e altamente eficiente para esta demanda.

De acordo com Cunha (2021), existe uma vasta quantidade de materiais que contam com características técnicas específicas e apropriadas para as mais variadas aplicações dentro do mercado de trabalho, cujo podem se tornar adequados e essenciais para o aumento da vida útil de algum equipamento. Muitos desses materiais podem ser utilizados como forma de revestimento de alguns produtos, como revestimento de tubulações por exemplo, com finalidade de evitar a abrasão, corrosão e desgaste dos mesmos. O desempenho dos equipamentos revestidos pode variar de acordo com a escolha do material do revestimento, o acabamento superficial do substrato ou pela arquitetura do revestimento (ANJOS, 2003).

Bentes (2007) diz que devida a necessidade da transição de fluxo de uma localidade a outra, as tubulações são amplamente utilizadas nas empresas de mineração, e consequentemente, também ocorre uma vasta gama de diferentes materiais utilizados como revestimento de tubulações visando o aumento de vida útil da linha e aumento da produtividade. Vale ressaltar que a área de mineração é uma das áreas com grande potencial no Sudeste do Brasil, que conta com 40% do total de mineradoras do país (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2013). Por trás desse número, consta o grande impacto gerado pelo minério de ferro, que é uma das principais commodities que o Brasil exporta, cujo, segundo Instituto Brasileiro de Mineração (2022), no primeiro semestre de 2020

exportou cerca de 167 milhões de toneladas desse material, sendo a China o destino de 64,5% das exportações, seguida de Malásia com 7%, Bahrein com 4%, Japão, Omã e Holanda com 3% cada.

Quando se trata dos materiais usualmente destinados para revestimento de tubulações dentro de empresas mineradoras, o Poliuretano, a Borracha e a Cerâmica são alguns dos exemplos que podem ser mencionados. Cada qual possui especificações técnicas e propriedades específicas que as permitem garantir a abrangência de possibilidade de aplicação bastante ampla dentro do mercado de trabalho (PYLES, 2012)

O revestimento utilizado em uma peça pode variar de acordo com cada aplicação, podendo não apenas garantir a proteção contra a corrosão, abrasão e outros fatores, como também deixar a peça com um melhor acabamento e melhor aparência. De acordo com cada variação de modelo de revestimento, existem também diferentes tipos de procedimentos para garantir a sua aplicabilidade nas peças, sendo que alguns revestimentos são aplicados a peça de maneira manual enquanto que para outros é necessário o auxílio de uma matriz para realizar a moldagem com a geometria desejada (SUPER FINISHING, 2004).

Segundo Pinto (2015), o kaizen é conhecido e praticado como uma forma de melhoria contínua. Essa metodologia surgiu como uma abordagem para a solução de problemas e tem como foco a melhoria, sustentada na eliminação de desperdícios, com base no bom senso e no uso de soluções baratas que se apoiem na motivação e criatividade dos colaboradores para melhorar a prática dos seus processos de trabalho. Os elementos chaves para esta metodologia são: Qualidade em tudo que se faz; Esforço e dedicação; Envolvimento de todos os funcionários da empresa, desde o presidente até o operador de máquinas; Vontade de mudar e de vencer; Comprometimento.

Salientado por Teles (2014), diante de toda a situação mencionada, a variedade de materiais que podem ser adotados para o revestimento de tubulações compõe a linha de uma mineradora, podem variar bastante, de modo que a escolha do material ideal acarreta em ganhos consideráveis em diversas empresas do mundo, em que as vantagens são a resistência à corrosão, abrasão e ao desgaste; melhora na durabilidade; melhora na qualidade entre outros. Porém, devido a infinidade de aplicações existentes, pode ocorrer maneiras de realizar melhorias diante das tubulações revestidas aplicadas a mineradoras. Daí, surge a seguinte pergunta problema:

Utilizando a metodologia Kaizen, quais as possíveis melhorias que se podem obter em uma tubulação de aço relacionados a três tipos de revestimentos: poliuretano, borracha e borracha com cerâmica?

1.2 Justificativa

Existem cerca de 8870 empresas mineradoras no Brasil. Dentro dessas mineradoras, o minério de ferro é o principal produto a ser exportado, que em valor totalizou US \$21,5 bilhões no primeiro semestre de 2020. Das 8870 mineradoras existentes, 3609 se encontram na região Sudeste, valor equivalente a 40% do total (IBRAM, 2012).

De acordo com Minério e Minerales (2019), é válido também ressaltar que Minas Gerais possui 57 das 200 maiores minas do Brasil, estando entre elas grandes nomes como Samarco, Vale, Mineração Caldense, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), Kinross, Mineração Usiminas e V&M Mineração.

Para Luz e Lins (2004), existem várias empresas fornecedoras de peças e equipamentos para mineradora, o qual desenvolvem o processo desde a elaboração da peça no setor de engenharia, até o seu desenvolvimento físico, sendo que o cliente tem uma participação fundamental durante o processo, pois todas as especificações técnicas do produto partem do mesmo. Às vezes é realizada uma visita técnica realizada pela fornecedora desses produtos revestidos, com intuito de dimensionar e especificar qual seria a melhor maneira de realização de projeto naquele determinado setor ou local.

Em entrevista à revista Minérios e Minerales (2022), o engenheiro mecânico José Anísio de Oliveira e Silva explicou as vantagens do sistema de revestimento para otimizar a operação, e ainda como ele pode trazer segurança, qualidade e redução de custos. Segundo ele:

A mineração tem basicamente necessidade de transportar por dutos materiais que podem ser agressivos para o interior das tubulações, por exemplo: água, rejeitos e, por muitas vezes, o próprio minério. Durante o transporte desses materiais que podem conter partículas abrasivas que podem promover erosão no interior da tubulação. Uma maneira de evitar esse desgaste é fazer o revestimento interno, porque sem revestimento a tubulação não dura por muitos anos.

Diante de toda a influência da região Sudeste, e mais especificamente, a região de Minas Gerais, exerce no setor de mineração, se torna válido mencionar a importância de

recursos que aumentem a produtividade, sendo que a metodologia kaizen pode promover uma maneira de realizar melhorias contínuas dentro de um projeto, e entre eles se encontra o foco deste trabalho que seria a utilização dos materiais PU, Borracha e Cerâmica aplicados como revestimento de tubulações.

O aumento da produtividade através da melhoria contínua e diante a utilização de diferentes materiais de revestimento é algo que pode acrescentar e implementar ainda mais benefícios para o setor de mineradoras da região, sendo que a análise através da metodologia kaizen e o estudo comparativo prático entre esses três tipos de materiais aplicados em revestimento, podem influenciar num melhor custo-benefício para a empresa e, assim, aumentar a vida útil do produto e evitar gastos desnecessários, gerando um maior lucro no final do processo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Utilizando a metodologia kaizen, traçar melhorias entre tubulações de aço que constem com revestimentos de poliuretano, borracha e borracha com cerâmica.

1.3.2 Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre: mineração, minério, tubulações, metodologia kaizen, desgaste, revestimentos, borracha, cerâmica, borracha com cerâmica e poliuretano.
- Elaborar uma metodologia para traçar a melhor maneira de aplicar o kaizen diante a tubulações de aço relacionados a revestimentos de: poliuretano, borracha e borracha com cerâmica.
- Acompanhar o processo de fabricação de tubulações de aço revestidos de borracha, borracha com cerâmica e poliuretano.
- Coletar múltiplos casos através de relatos de trabalhadores com experiência na área de mineração.

- Conclusão obtida a respeito de qual o revestimento ideal para se aplicar em tubulações de aço diante das mesmas condições operacionais.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em 5 capítulos, sendo o primeiro deles o de introdução, visando oferecer um primeiro contato do leitor com o assunto a ser discutido. Já o segundo capítulo trata de uma revisão bibliográfica, buscando realizar uma revisão sobre todo o conceito que será tratado durante o decorrer do trabalho, de maneira a demonstrar a visão de autores através de livros, teses, artigos e assim criando um embasamento contextual para o decorrer do trabalho.

O terceiro capítulo trata da metodologia adotada para conseguir obter a coleta de dados e insumos do trabalho. Ele está dividido em seis tópicos, sendo tipo de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, instrumento de coleta de dados, tabulação dos dados e considerações finais do capítulo.

O quarto capítulo é a parte de resultados e discussão. Ele se baseia em realizar uma análise no assunto apresentado em todo o trabalho e apresentar os resultados que se foram possíveis obter, além da realização de uma discussão aprofundada sobre os motivos que possibilitaram encontrar os resultados.

Por fim, o quinto capítulo trata das conclusões e recomendações, o qual o assunto abordado recebe um fim e é levantado o que se foi possível absorver de conhecimento diante de todo o trabalho. Além disso, neste capítulo é dada recomendações a serem utilizadas por pessoas que atuem na área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizado um estudo teórico sobre o tema abordado. Tal estudo contempla os processos de fabricação de tubulações de aço bem como os revestimentos utilizados de borracha, borracha com cerâmica e poliuretano que servira de aporte técnico e base de pesquisa para o trabalho.

2.1 Mineração

Desde os tempos da pré-história, existia a mineração destinada à fabricação de armas a partir da matéria prima sílex e cherte que eram explorados em galerias. O desenvolvimento da sociedade é um processo que anda lado a lado com a mineração, tanto é que existe as fases relacionadas com o avanço da mineração no decorrer da história, sendo elas correspondem a Idade da Pedra, Idade do Cobre, Idade do Bronze, Idade do Ferro, Idade Nuclear e Idade dos Materiais Avançados (AMARANTE, 2017).

Conforme salienta Nunes (2005), mineração é definida como a “atividade de extração de minerais que possuam valor econômico”, em outras palavras, é uma atividade econômica extrativa que visa a retirada de recursos minerais para servir como matéria prima a fim de atender a necessidade humana.

O território brasileiro tem seu solo como alvo de ações de mineração desde o tempo colonial, quando o ouro era cobiçado e buscado no interior do país. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (2012), o Brasil é reconhecido por ser um dos maiores produtores de minério do mundo, sendo que aproximadamente 70 substâncias minerais são produzidas em território nacional (21 dos grupos de materiais não metálicos e 45 dos não metálicos e 4 dos energéticos).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (2015), no Brasil estão localizadas cerca de 3354 minas, sendo 159 de grande porte, além de que, conforme dados do Instituto Brasileiro de Mineração (2012), existem mais de 8 mil empresas mineradoras em solo brasileiro. A figura 1 demonstra a distribuição das empresas mineradoras entre as regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Companhias mineradoras no Brasil

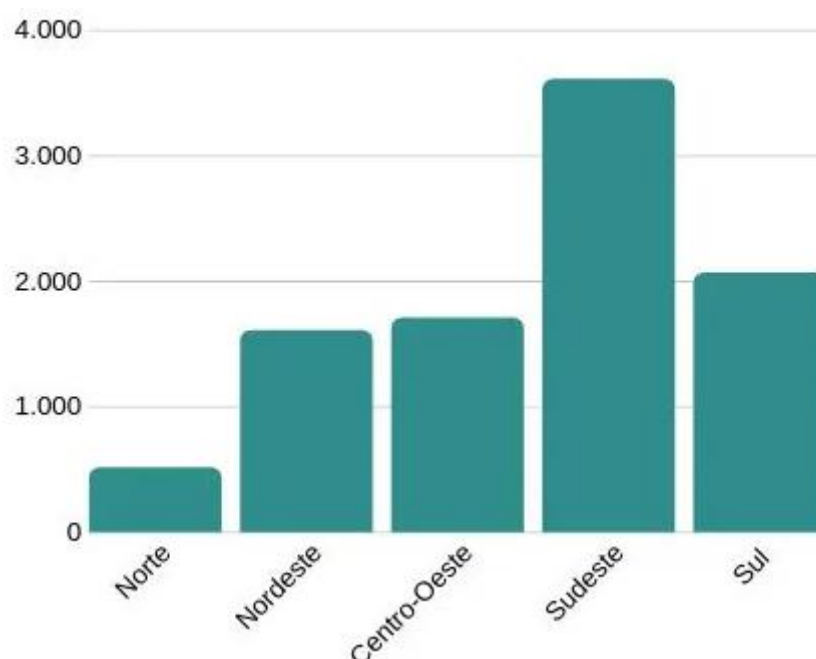


Figura 1- Relação de mineradoras em território brasileiro
Fonte: DNPM 2012

Observa-se da figura que os dados citados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (2012), que a região Sudeste se sobressai das demais regiões a respeito do número de mineradoras, sendo seguida pela região Sul e Centro-Oeste respectivamente. O estado de Minas Gerais colabora com essa discrepância de mineradoras entre as regiões, já que o estado possui 40 das 100 maiores minas do Brasil, além dos 10 maiores municípios mineradores estarem em Minas. Esses números fazem com que o estado seja responsável por 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% do total de minerais, além de extrair mais de 160 milhões de toneladas/ano de minério de ferro (IBRAM, 2013).

2.1.1 Minério

Para Luz e Lins (2004) o minério consiste como toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, passíveis de serem utilizados economicamente e tecnologicamente.

A figura 2 demonstra um fluxograma relacionado ao tratamento de minérios com recirculação de água.

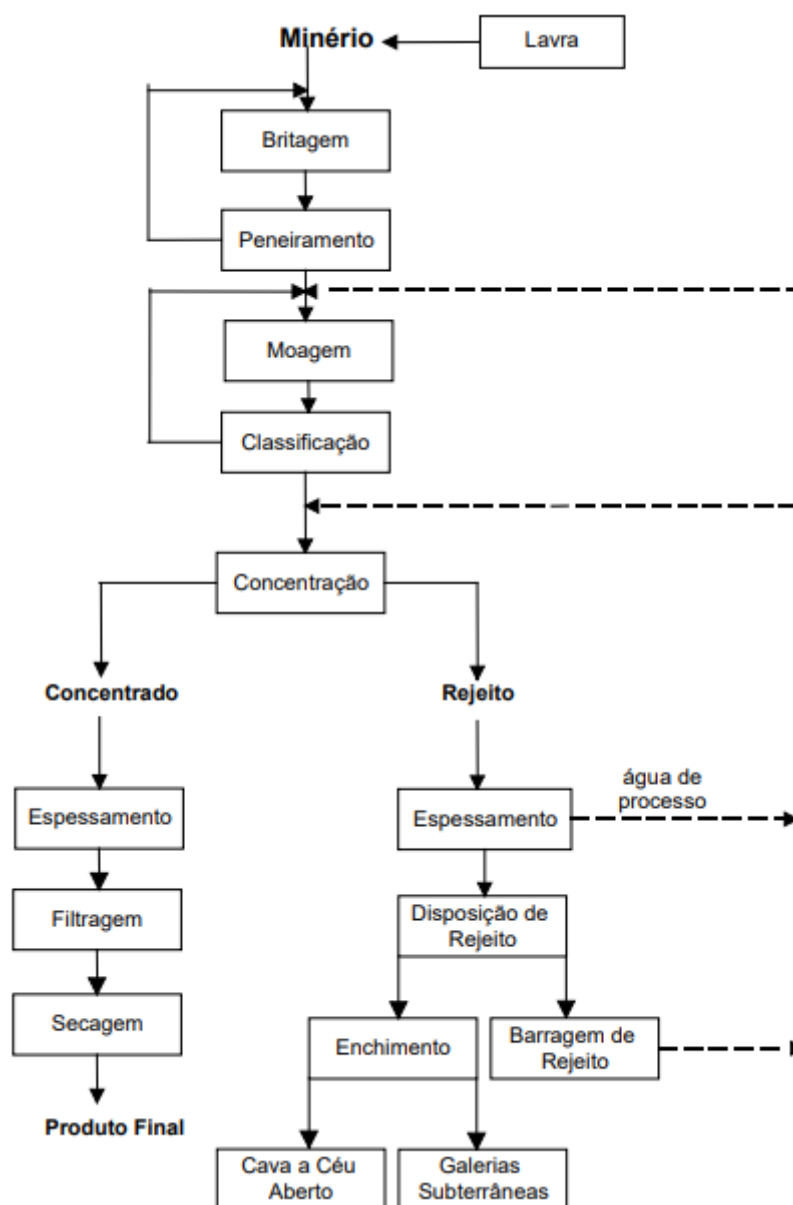


Figura 2 - Fluxograma de tratamento de minérios
 Fonte: Luz e Lins (2004)

Podemos perceber pela figura que o minério bruto, que geralmente é denominado ROM de “*run-of-mine*”, passa por diversos processos até chegar no produto final, sendo elas:

- Cominuição: britagem e moagem;
- Peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (ciclonagem, classificação em espiral);
- Concentração: gravítica, magnética, eletrostática, flotação etc.
- Desaguamento: espessamento e filtragem;

- Secagem: secador rotativo, spray dryer, secador de leito fluidizado;
- Disposição de rejeito

Nas etapas de britagem, moagem, peneiramento e classificação, é realizada a redução e a padronização do material de acordo com a sua aplicabilidade dentro de um determinado processo. A etapa de concentração se baseia na separação da ganga (mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério é denominado) do metal-minério (minerais valiosos e úteis). Essa separação é realizada através de fatores como peso específico, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, química de superfície entre outras. O final do processo se dá com rejeito sendo dispersado como disposto em barragem de rejeito ou alguma outra maneira, enquanto que o concentrado passa pelos processos de espessamento, filtragem e secagem até se tornar o produto final (LUZ e LINS, 2010).

2.1.2 Minério de ferro

Para Mourão e J. Murilo (2008), o minério de ferro é a rocha, a partir da qual, pode ser obtido o ferro metálico de maneira economicamente viável. O ferro em temperatura ambiente se encontra no estado sólido, porém, por se tratar de elemento bastante reativo, geralmente não é encontrado na natureza sem estar ligado quimicamente a outro elemento. O ferro se trata do elemento mais utilizado no cotidiano da humanidade além de ser o quarto elemento mais abundante da terra, ficando atrás somente do oxigênio, silício e alumínio. Segundo Carlos A. Gonçalves (2010) os principais minerais/minérios de ferro são a hematita (Fe_2O_3), a magnetita (Fe_3O_4), a goethita (FeO/OH) e a siderita (FeCO_3). A tabela 1 demonstra os principais minerais portadores e seus respectivos teores de ferro:

Tabela 1- Principais minerais portadores de ferro e seus respectivos teores

Mineral	Fórmula química	Conteúdo teórico de ferro
Magnetita	Fe_3O_4	72,4
Hematita	Fe_2O_3	69,9
Goethita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62,9
Limonita	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	59,8
Ilmenita	FeTiO_3	36,8
Siderita	FeCO_3	48,2
Pirita	FeS_2	46,5
Pirrotita	$\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$	61,0

Fonte: Unesp (2013)

É possível observar através da tabela que o conteúdo teórico de ferro presente na Magnetita é superior aos demais minerais, alcançando um teor de 72,4%. Paralelamente, o Ilmenita é o mineral que apresenta o menor teor de ferro, com apenas 36,8%.

Conforme Silva e Valadares (1988), o beneficiamento do minério de ferro pode sofrer alterações em suas metodologias, se baseando nas características físicas, químicas e mineralógicas do minério. Segundo eles, os minérios ricos em ferro, geralmente, são processados em um ciclo que se baseia em circuitos de fragmentação; classificação; concentração; amostragem; manuseio dos materiais; disposição dos rejeitos e desaguamento. A figura 3 mostra o manuseio e beneficiamento do minério:

podem danificar uma superfície inadequada para a situação, alguns exemplos são fluidos em altas temperaturas ou fluidos ácidos.

Telles (2001) diz que as tubulações têm um grau relativamente alto de importância em todas as suas áreas de atuação, e em destaque, nas indústrias de processos, nas quais as tubulações têm o papel de realizar a interligação entre os variados equipamentos. Segundo o autor:

Nessas indústrias, o valor das tubulações representa, em média, de 20 a 25% do custo total da instalação industrial, a montagem das tubulações atinge, em média 45 a 50% do custo total da montagem de todos e equipamentos, e o projeto das tubulações vale, em média, 20% do custo total do projeto da indústria.

2.2.1 Principais materiais para tubos

De acordo com Telles (2001), a variedade de materiais que podem ser utilizados para tubos é muito grande, de forma que apenas a norma ASTM (American Society for Testing and Materials) apresenta mais de 500 tipos de materiais. Segundo o autor, existem algumas variáveis que influenciam na seleção e especificação do material mais adequado para uma determinada aplicação, sendo os principais deles:

- Pressão;
- Temperatura de trabalho;
- Fluido conduzido (aspectos de corrosão e contaminação);
- Custo;
- Maior ou menor grau de segurança exigido;
- Sobrecargas externas existentes;
- Resistência ao escoamento do fluido.

A figura 4 demonstra um resumo dos principais materiais usados:

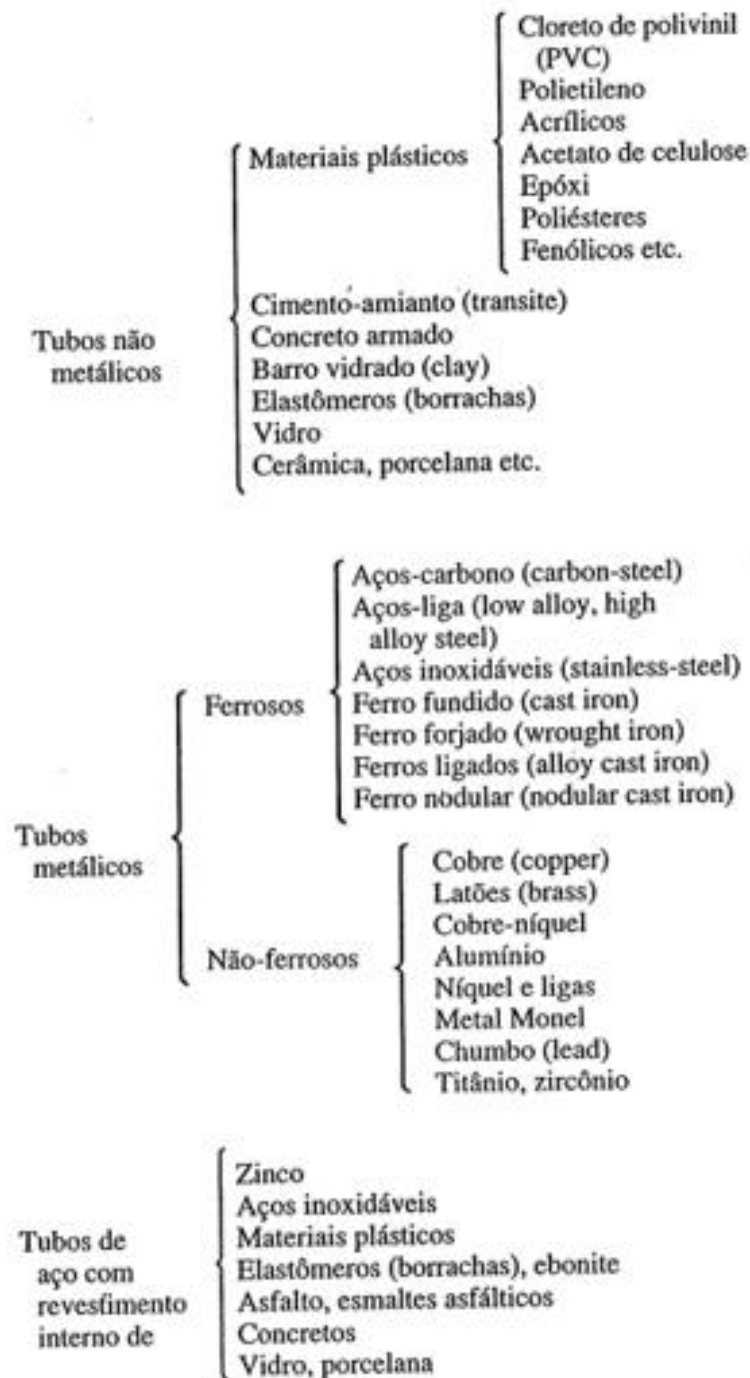


Figura 4 - Principais Materiais para tubos
Fonte: Telles, 2001

É possível perceber através da figura que além dos dois primeiros grupos principais que se trata do material da tubulação (tubos metálicos e não metálicos), também existe a presença de um terceiro grupo citando os principais revestimentos de um tubo. Vale ressaltar que grande parte das classificações citadas na figura 4 (aço-carbono, aço-liga, etc.) representam um grupo ou família de matérias e não um único material.

2.2.2 Normas para tubos

Todos os materiais, metálicos ou não metálicos, que são empregados em uma tubulação industrial, devem conter suas características técnicas e propriedades seguindo especificações de materiais que são descritas por documentos normativos emitidos por sociedades de normalização reconhecidas, públicas ou particulares, cujo geralmente mencionam as seguintes informações e exigências: descrição e finalidade do material; composição química; propriedades mecânicas; ensaios e testes exigidos ou recomendados; condições de aceitação; rejeição e marcação do material; dados dimensionais; propriedades físicas e químicas; exigências suplementares opcionais, entre outros (TELLES, 2001)

Segundo Bentes (2007), a classificação dos tubos pode variar de acordo com solda longitudinal em industriais, pela precisão, pelo tipo de condução, tubos petrolíferos e eletrodutos. O autor demonstra as principais normas de tubos e um breve resumo sobre suas exigências que podemos visualizar de maneira mais detalhada na tabela 2.

Tabela 2 - normas relacionadas a tubulações industriais

NORMAS RELACIONADAS A TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS	
Norma	Descrição resumida
NBR 6591	Tubos para aplicações diversas sem exigência de acabamento e propriedades mecânicas, com composições químicas definidas.
DIN 1615	Tubos não sujeitos a requisitos especiais de aço de baixo carbono.
ASTM A-513	Tubos para uso mecânico com propriedades mecânicas e composição química definidas.
A-500	Tubos para uso estrutural em vários graus de matéria prima, com propriedades mecânicas definidas.
BS 4474	Tubos estruturais fabricados a partir da matéria prima laminada a quente.
ASTM A-214	Tubos com composição química definida para trocadores de calor e condensadores.
ASTM A178	Tubos para caldeiras, superaquecedores e vasos de pressão, em vários graus de matéria prima. Os requisitos de propriedades mecânicas não se aplicam a tubos de diâmetro interno menor que 3,2 mm e espessura de parede menor que 0,4 mm.
DIN 1626	Tubos sujeitos a requisitos especiais, para pressões máximas definidas e temperaturas de trabalho de até 300 °C, com composições químicas definidas.
DIN 1628	Tubos de alta performance, normalmente sem limite de pressão de trabalho, porém, deve ser usada a temperatura de no máximo 300 °C, com composições químicas definidas.
NFA 49-643	Tubos comerciais decapados ou não com composições químicas definidas e seções (para classes) redonda, quadrada e retangular.

DIN 2393	Tubos de precisão interna e externa, com composições químicas e propriedades mecânicas definidas, nos graus de qualidade A, B ou C. Podem ser fornecidos sem tratamento térmico após a última de formação a frio, com pequeno passe de trefila após o último tratamento térmico, recozido em atmosfera controlada ou normalizado em atmosfera controlada.
DIN 2394	Tubos de precisão externa, com composições químicas e propriedades mecânicas definidas e nos graus de qualidade A, B ou C. Podem ainda ser fornecidos sem tratamento térmico após a calibração, recozidos em atmosfera controlada ou normalizados em atmosfera controlada.
DIN 2395	Tubos de precisão para uso geral, nas seções quadradas e retangulares, com composições químicas definidas e nos graus de qualidade A ou B.
NBR 5599	Tubos de precisão interna e externa, com composições químicas e propriedades mecânicas definidas, e em vários graus de matéria prima. Podem ainda ser fornecidos nos estados TD (Trefilado Duro), TM (Trefilado Macio), RB (Recozido Branco), RD (Recozido Decapado), NB (Normalizado Branco) e ND (Normalizado Decapado).
ASTM A-135	Tubos de condução nos graus A e B, com composição química e propriedades mecânicas definidas. Sendo o de grau A apto a ser dobrado ou flangeado. São normalmente fornecidos no SCH 10, com diâmetro nominal variando de 3/4 a 5 polegadas. Geralmente fabricados com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva).
ASTM A-53	Tubos de condução nos graus A e B, com composição química e propriedades mecânicas definidas. Sendo o de grau A apto a ser dobrado, flangeado e serpentinado; e o grau B podendo sofrer dobramento e flangeamento limitados. São fornecidos normalmente nos SCH 40 e SCH 80. Geralmente fabricados com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva). Esta norma é praticamente igual a norma brasileira NBR 5590.
ASTM A-120	Tubos de condução normalmente nos SCH 40 e SCH 80. Geralmente fabricados com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva).
DIN 2440	Tubos de condução para pressões de no máximo 25 Kgf/cm ² para líquidos e 10 Kgf/cm ² para ar e gases não perigosos. Podem ser fornecidos com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva). Esta norma é praticamente igual a norma brasileira NBR 5580 classe M.
DIN 2441	Tubos de condução para pressões de no máximo 25 Kgf/cm ² para líquidos e 10 Kgf/cm ² para ar e gases não perigosos. Podem ser fornecidos com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva). Esta norma é praticamente igual a norma brasileira NBR 5580 classe P.
BS 1387	Tubos de condução com composição química e propriedades mecânicas definidas nas classes leves, média e pesadas. Podem ser fornecidos com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva). Esta norma é praticamente igual à norma brasileira NBR 5580.
NBR 5580	Tipo de tubo de condução. Pode ser fornecido com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva).

NBR 5590	Tubos de condução nos graus A e B, com composição química e propriedades mecânicas definidas. Sendo o de grau A apto a ser dobrado, flangeado e serpentinado; e o grau B podendo sofrer dobramento e flangeamento limitados. São fornecidos normalmente nas Série 40 e Série 80. Possuem extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva).
NF A 49-141	Tubos de condução, com composição química definida, com pressão máxima admissível de uso de 36 bar à temperatura ambiente. Possuem as extremidades lisas.
NF A 49-145	Tubos de condução, com propriedades mecânicas definidas nas séries leve, média e pesadas. Podem ser fornecidos com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva).
JIS G 3456	Tubos de condução, com propriedades mecânicas definidas. Podem ser fornecidos com extremidades lisas, chanfradas ou com rosca (com ou sem luva).
API 5 CT	Tubos destinados a revestimento de poços (CASING) e a produção (TUBING). Podem ser fornecidos em vários graus de matéria prima.
API 5L	Tubo para condução de fluidos em refinaria de petróleo, transporte de água, gás natural ou outros gases. Podem ser fornecidos em vários graus de aço.
ANSI C 80.1	Tubos galvanizados para proteção de condutores elétricos. Não possuem matéria prima definida, porem são aptos de serem curvados. Podem ser fornecidos com pontas lisas ou com rosca (com ou sem luva).
NBR 5597	Tubos galvanizados nas séries extra e pesada, para proteção de condutores elétricos. O aço utilizado é de baixo teor de carbono e eles são aptos a serem curvados. Podem ser fornecidos com pontas lisas ou com rosca (com ou sem luva).
NBR 5598	Tubos galvanizados para proteção de condutores elétricos. O aço utilizado é de baixo teor de carbono e eles são aptos a serem curvados. Podem ser fornecidos com pontas lisas ou com rosca (com ou sem luva).

Fonte: Adaptado de Bentes (2007)

É possível perceber pela tabela a presença de inúmeras normas que abrangem as mais variadas situações que podem ocorrer no ramo industrial. A escolha da norma imposta em determinado projeto irá variar de acordo com as exigências realizadas pelo cliente e também por outros fatores que impactam no mesmo (BENTES, 2007).

De acordo com Telles (2001), existem normas que regem os diâmetros comerciais de mercado, sendo elas a ANSI. B36.10 para tubos de aço-carbono e aços-ligas que abrangem diâmetros nominais de Ø1/8” até 15736” e ANSI. B36.19 para aços inoxidáveis que abrangem diâmetros nominais de Ø1/8” até Ø12”.

2.2.3 Métodos de fabricação de tubos

Segundo Telles (2001), existem dois tipos de tubos, os tubos com costura e os tubos sem costura.

Os tubos com costura são aqueles produzidos através da soldagem das extremidades de uma chapa, possibilitando produzir tubos com diferentes tamanhos, espessuras e diâmetros e assim tornando amplo as possibilidades em aplicações em algum projeto. Os dois principais tipos de tubos com costura são:

- **Tubo com costura helicoidal:** Segundo Telles (2001), tubos com a costura helicoidal são fabricados sempre com a utilização de uma bobina, o qual é enrolada sobre si mesma, sendo a largura da bobina igual a distância entre duas espiras sucessivas de solda. A figura 5 demonstra exemplos de tubos com costura helicoidal.



Figura 5 - tubos com costura helicoidal
Fonte: SinFinesFAS (2023)

- **Tubos com costura longitudinais:** Tubos com costura longitudinal podem ser fabricados a partir de chapas planas avulsas que passam pelo processo de conformação através de prensas ou calandras, ou então através de bobinas e auxílio de rolos conformadores que comprimem a chapa sucessivamente. A soldagem do tubo sempre ocorre de maneira longitudinal ao tubo, como é possível ver através da figura 6.



Figura 6 - tubos com costura longitudinal
Fonte: Tubos Oliveira (2020)

Já os tubos com costura são produzidos sem a presença do processo de soldagem, sendo utilizados a fabricação por laminação, extrusão ou fundição (AÇOPLANO, 2017). Esses processos serão detalhados abaixo:

- Processo de laminação: Segundo Telles (2001), o processo de laminação ocorre com um lingote cilíndrico de aço sendo aquecido a uma temperatura de aproximadamente 1200°C e levado ao laminador oblíquo. O laminador oblíquo é composto por dois rolos de cone duplo que os eixos formam uma angulação entre si. O lingote é colocado entre os dois rolos que o pressionam fortemente e o empurra contra um mandril. Dessa maneira o resultado é um tubo bruto que ainda deve passar por processos de conformação de acabamento através de laminadores perfilhadores. A figura 7 demonstra o processo de laminação citado.

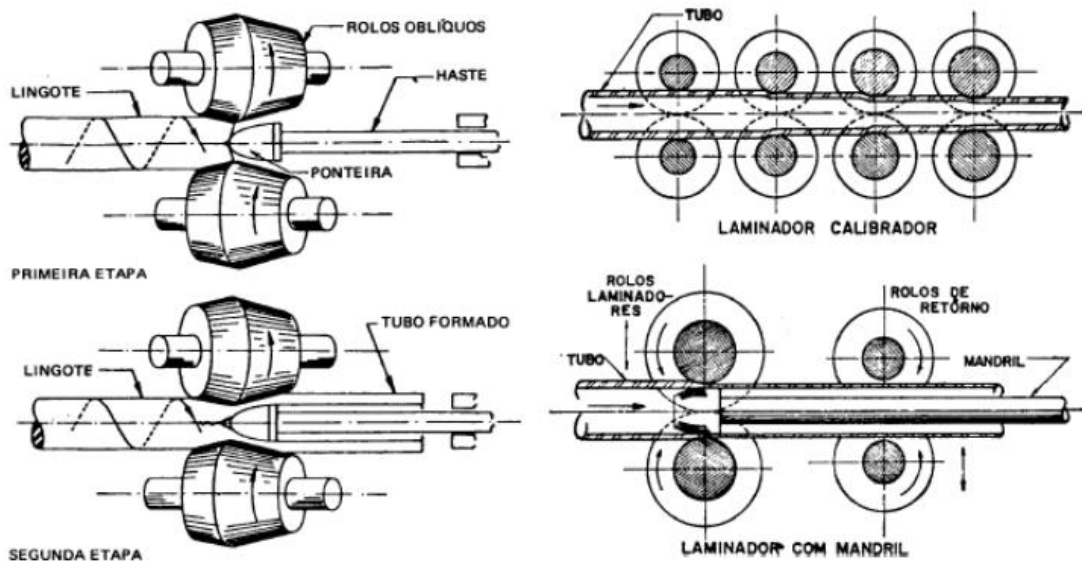


Figura 7 - Processo de laminação
Fonte: Telles (2001)

- Processo de extrusão: De acordo com Bresciani Filho et al (1997), a extrusão pode ser definida como um processo de conformação plástica que se baseia na utilização da ação da compressão e um pistão para realizar a passagem de um tarugo ou lingote de secção circular, colocado dentro de uma matriz, pela abertura existente no meio de uma ferramenta que se localiza na extremidade do recipiente. A figura 8 demonstra o processo de extrusão.

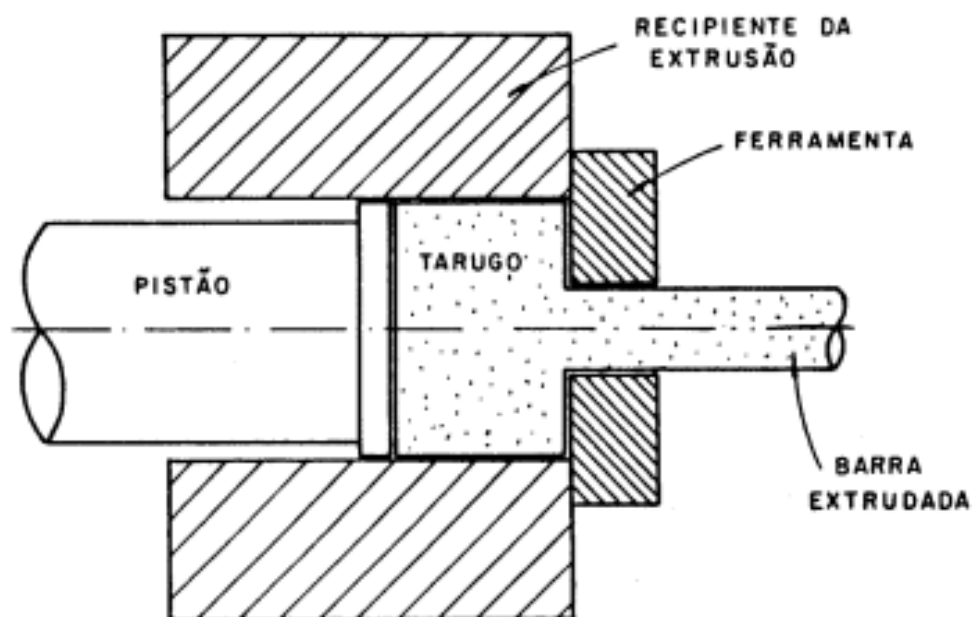


Figura 8 - Processo de extrusão de tubos
Fonte: Bresciani Filho et al (1997)

- Processo de fundição: Segundo Machado (2004) o processo de fundição pode ser descrito como o vazamento de um metal ou liga metálica em estado líquido em um molde com formato e medidas iguais ao da peça requisitada. Existem casos em que após a fundição a peça é passada para um processo de usinagem para a realização de ajustes preciso e assim garantir o dimensional da peça de acordo com a tolerância desejada. A figura 9 demonstra o processo de fundição.



Figura 9 - Processo de fundição de tubos
Fonte: Tubos oliveira (2019)

2.2.4 Tubulações revestidas

Devido aos diversos processos ocorrentes em uma mineradora, o uso de tubulações que possuem uma vida útil longa e que, ao mesmo tempo, sejam eficientes, é fundamental para o aumento do lucro da empresa. Todas essas tubulações estão aptas a passarem pelo processo de desgaste e corrosão devido ao material o qual os mesmos têm contato. Para evitar esse desgaste e consequente diminuição da vida útil, muitas vezes é utilizado revestimentos para aumentar a durabilidade do equipamento (RIBEIRO, 2004).

Segundo a norma DIN 30670 (2012), os tubos revestidos podem ser definidos como aqueles que passam por um processamento para evitar a corrosão, isso faz com que eles consigam prevenir ou retardar a tubulação de aço. A corrosão de tubos pode ser dada pela via

externa devido à exposição atmosférica (ferrugem) ou devido ao meio o qual a mesma está enterrada ou submersa, quanto interna devido ao fluido que passa em seu interior (PYLES, 2012). Por este motivo, é possível realizar o revestimento de tubos de maneira externa ou interna, visando sempre proteger o aço contra a corrosão e desgaste. A figura 10 demonstra um exemplo de tubulação revestida, o qual consta com o material Poliuretano como revestimento interno de uma tubulação de aço.



Figura 10 - Tubulação de aço revestida de PU
Fonte: Fortelo (2022)

Observa-se da figura que a presença do poliuretano faz com que o fluido passante no interior da tubulação não tenha um contato direto com o tubo de aço, e consequentemente, a durabilidade e vida útil da mesma irá se prolongar e assim gerar diminuição de perdas por causa de paradas para manutenção.

2.3 Metodologia Kaizen

Segundo Pinto (2015), o kaizen é conhecido e praticado pelo mundo inteiro como sendo uma filosofia de melhoria contínua. Ele foi desenvolvido por Masaaki Imai no Japão, e o conceito foi introduzido na América em 1986, a partir do livro escrito por Masaaki Imai, “Kaizen –The Key to Japan`s Competitive Success”. A metodologia kaizen surgiu como sendo uma abordagem sistemática para a solução de problemas, sendo que o foco é a melhoria sustentada na eliminação de desperdícios, tendo como base o bom senso e no uso de soluções baratas que se apoiem na motivação e criatividade dos colaboradores para melhorar a prática

dos seus processos de trabalho. Ao eliminar o desperdício, uma organização se torna mais produtiva, garantindo que atenda a necessidade do cliente e um ganho financeiro para a organização (ORTIZ, 2010)

Ortiz (2010) salienta que o Kaizen enfatiza o desenvolvimento de uma cultura voltada para o processo e direcionado a aprimorar a forma com que a empresa trabalha, visando responder melhor às necessidades do cliente no que diz respeito à entrega dentro do prazo, ao custo competitivo e à qualidade mais elevada. Porém, mudar a cultura de uma empresa é uma batalha um pouco complicada que pode demandar bastante tempo e esforço, principalmente em ramos cujo a obtenção de resultados atingidos rapidamente pode impactar muito os lucros. Desta maneira, em essência o kaizen trata de ensinar e orientar as pessoas para que se tornem melhores no que fazem em todo aspecto de seu trabalho.

Sharma (2003) diz que o Kaizen utiliza questões estratégicas baseadas no tempo, o quais os pontos-chave para os processos produtivos são: a qualidade (como melhorá-la), os custos (como reduzi-los e controlá-los), e a entrega pontual (como garanti-la). O fracasso de um destes três pontos significa perda de competitividade e sustentabilidade nos atuais mercados globais.

A imagem 11 representa um exemplo de ciclo de melhoria contínua Kaizen.



Figura 11 - Ciclo Kaizen
Fonte: EcoProd (2018)

É possível observar pela imagem que a metodologia kaizen é tratada como sendo um ciclo onde sempre é procurado alcançar alguma melhoria, ou seja, uma melhoria contínua.

2.3.1 Ideias chaves da metodologia Kaizen

Segundo Pinto (2015) existem algumas ideias chaves de melhorias contínuas que implementam a metodologia kaizen, sendo elas:

1. Ver oportunidade de melhorias nos problemas: com o surgimento de um problema, surge também a oportunidade da criação de uma solução. Logo, cada problema deve ser visto como um desafio e um potencial ganho.
2. Apostar na mudança de pequenas rotinas: pequenos detalhes, pequenas reduções de desperdício de tempo, pequenas melhorias nos hábitos do dia a dia, podem no final do processo simbolizar uma grande melhoria no processo e ocasionar um grande impacto.
3. Aplicar metodologias do bom senso: se baseia em aplicar no dia a dia a experiência e aprendizados que foram obtidos através da vivência profissional no decorrer do tempo. Tem determinadas coisas que não são aprendidas através de livros e sim através de experiências vividas.
4. Melhorar todos os dias: a cada novo processo, nova tarefa, nova função, sempre existe uma possibilidade de melhorias, basta olhar atentamente.
5. Questionar tudo sem paradigmas: a curiosidade e o questionamento podem trazer respostas interessantes sobre um assunto antes não conhecido.
6. Eliminar ou reduzir resíduos: implica a análise da forma como se trabalha, para encontrar as melhores soluções dentro de portas.

2.4 Desgaste

Segundo Souza (2011) o desgaste pode ser definido como “a progressiva perda de substância ocasionada pelas operações na superfície de um corpo causada pelo movimento relativo das superfícies”. A norma DIN 50320 (1979) menciona que o desgaste é a progressiva perda de material da superfície de um corpo sólido devido a ação mecânica,

paralelamente, a norma ASTM G77-91 (2010) define desgaste como o dano em uma superfície sólida, envolvendo perda progressiva de massa, devido ao movimento relativo entre a superfície e o contato com outro material ou materiais.

Todas as definições citadas mencionam a perda de material como consequência de alguma ação, ou seja, o desgaste é gerado pela remoção do material originado pela interação de componentes de máquinas que tem como resultado a fadiga do material das superfícies em contato. Raramente esse desgaste ocasiona uma catástrofe, porém, pode reduzir drasticamente a eficiência das operações (COZZA, 2006).

Para Cozza (2006) o processo de desgaste pode envolver diversos mecanismos, fato que ocasiona uma diferente classificação relacionado aos desgastes existentes, sendo os principais deles o desgaste por adesão; desgaste por abrasão; desgaste por corrosão; desgaste por fadiga e desgaste por erosão. A figura 12 cita a classificação dos processos de desgaste relacionado ao modo de como o processo ocorre.

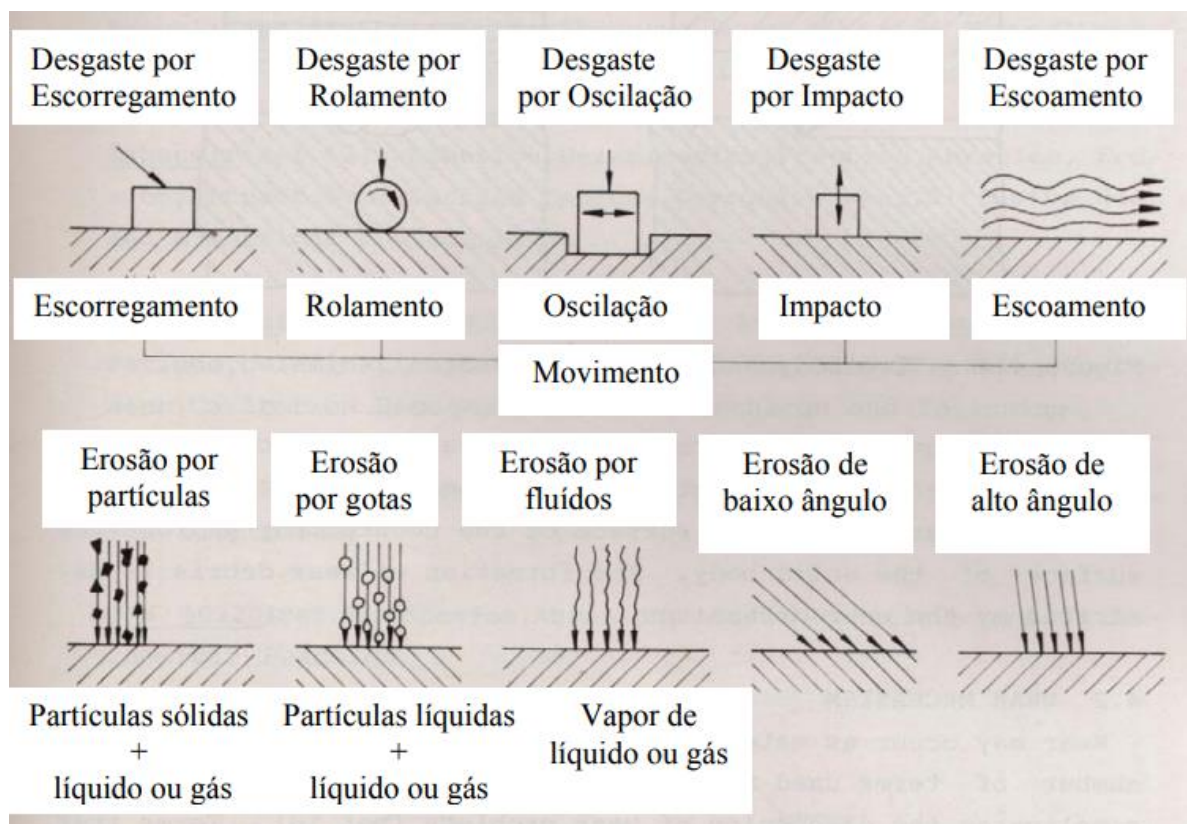


Figura 12 - Classificação dos processos de desgaste por modos de desgaste
Fonte: Peterson, 1980

Pode-se observar da figura que a classificação do desgaste pode sofrer variações de acordo com o movimento das interfaces, podendo variar entre deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e erosão, dependendo da cinemática do sistema.

O conceito básico dos principais tipos de desgaste são:

- Segundo Suski (2004) o desgaste por adesão é caracterizado por uma superfície deslizando sobre outra, estando relacionado com o contato e interação entre as irregularidades das superfícies. Diante disso, ocorre a geração de forças de atração nos picos mais altos das irregularidades, o qual podem ter caráter covalente, iônico, metálico ou pela força de van der Waals. Devido a área de contato nas irregularidades serem pequenas, é desenvolvido localmente altas pressões de contato que provocam deformação plástica, adesão e consequentemente a formação de junções localizadas (SUSKI, 2004). A figura 13 cita as etapas do desgaste por adesão descrita pela teoria de Sasada (1979) que diz que as pequenas partículas aderem à superfície e se juntam com outras ficando cada vez maior até serem removidas do contato como fragmento de desgaste

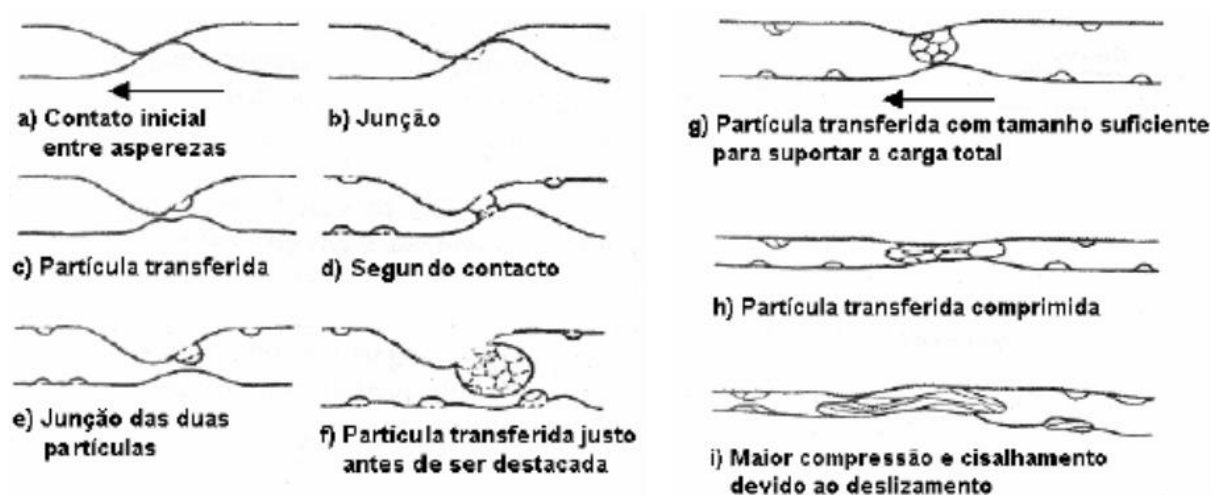


Figura 13 - Desgaste por adesão
Fonte: Sasada, 1979

Observa-se da figura que as pequenas partículas aderem à superfície e se juntam com outras ficando cada vez maior até serem removidas do contato como fragmento de desgaste.

- O desgaste por abrasão, segundo Zum Gahr (1987), é o processo de desgaste proveniente da penetração de partículas duras ou pelas protuberâncias de uma superfície de um contra corpo duro em contato com uma superfície relativamente menos dura, decorrente de um deslizamento de ambas as faces.
- Desgaste por corrosão, segundo Carvalho (2007) é aquele desgaste caracterizado pela deterioração do metal através de reações químicas ou eletroquímica do meio podendo estar ou não associado a esforços mecânicos. Esse tipo de desgaste pode incidir sobre materiais metálicos, aços e ligas de cobre, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto
- Desgaste por fadiga, segundo a norma ASTM E1823-13 (2013), pode ser definido como:

Processo progressivo e localizado de modificações estruturais permanentes ocorridas em um material submetido a condições que produzam tensões e deformações cíclicas que pode culminar em trincas ou fratura após um certo número de ciclos.

Os mecanismos de abrasão e adesão ocorrem de maneira diferente do desgaste por fadiga, pois os mesmos não necessitam de ciclos contínuos para que o desgaste aconteça.

- Desgaste por erosão, segundo Bezerra (2016), é definido como sendo a perda progressiva de material original de uma superfície devido ao impacto de partículas sólidas presentes em um determinado fluido, um fluido multicomponente ou líquido sob ação impactante ou partículas sólidas. Geralmente esse tipo de desgaste é encontrado em pás de turbinas de hidrelétricas, distribuidores de adubos, tubulações, entre outros.

2.5 Revestimentos

Revestimento consiste na deposição de um material específico na superfície de um segundo material, ou até mesmo do mesmo material, de maneira a ser destinado como uma forma de controle e proteção de superfícies em um período grande de tempo ao ser expostas por situações de desgaste ou por circunstâncias corrosivas ou não, que podem variar desde a exposição atmosférica até as condições de um processo específico, como a exposição a produtos químicos, corrosivos ou então destinado a melhorar a aparência da superfície (CARVALHO, 2007)

Para Carvalho (2007) o foco principal da utilização de um revestimento está no isolamento de elementos estruturais de ambientes que possam degradar sua superfície. O revestimento deve fornecer uma camada protetora contínua a um substrato, de maneira que qualquer irregularidade pode acabar interferindo no processo de proteção de maneira a ocasionar um ponto localizado para degradação do material. A figura 14 demonstra técnicas geralmente utilizadas na aplicação de revestimentos.

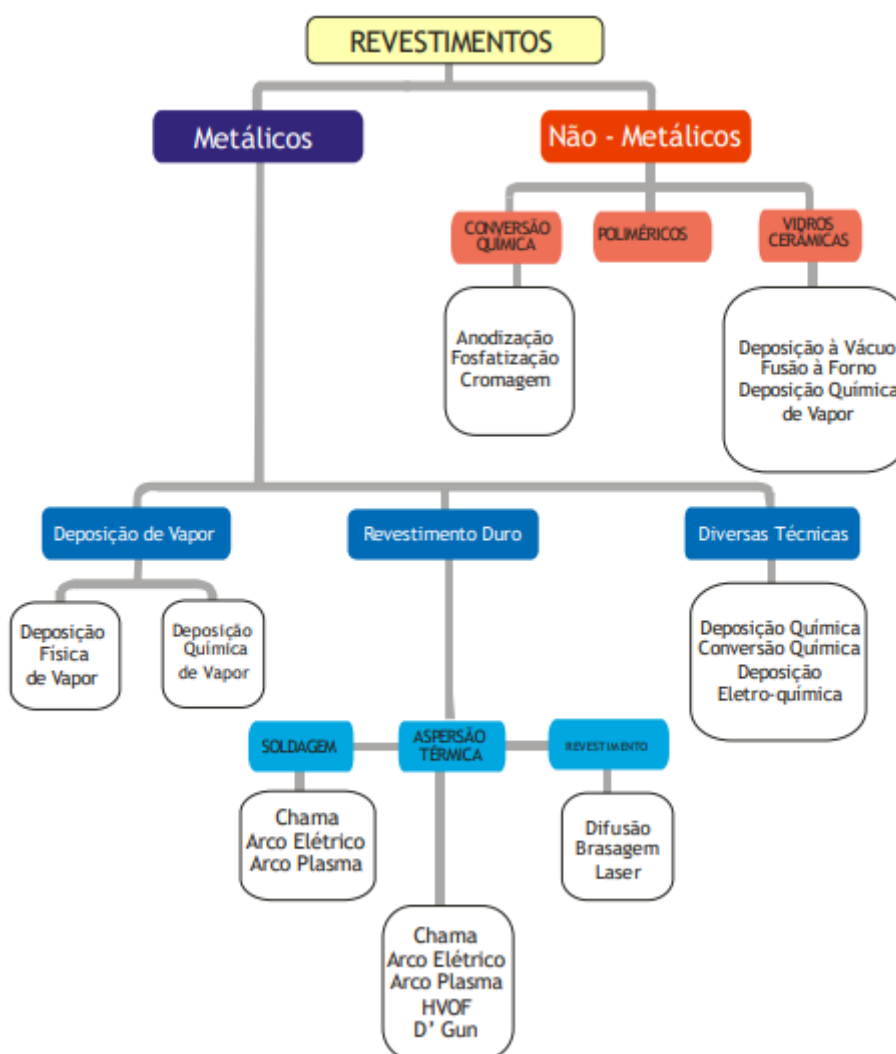


Figura 14 - Técnicas de aplicação de revestimento
 Fonte: Carvalho, 2007

Observa-se na figura que as técnicas geralmente utilizadas na aplicação de revestimento são divididas em grupos, sendo eles os revestimentos metálicos e os revestimentos não metálicos, de forma que as técnicas dos metálicos possuem um leque com uma gama maior de variedade que os não metálicos.

2.5.1 Poliuretano

O poliuretano, também chamado simplesmente de PU, é um plástico que possui alguns aspectos semelhantes à borracha, porém podendo sofrer alterações relacionadas aos níveis de rigidez. A descoberta da síntese do poliuretano se deu na Alemanha em 1930 por Otto Bayer, e desde então, por causa de sua versatilidade, esse material vem ganhando grande espaço no

segmento de materiais orgânicos além de serem utilizados como biomaterial em implantes, na engenharia de materiais e na indústria de revestimentos (TROVATI *et al.*, 2010).

Segundo ZHANG *et al.*, (2007), o poliuretano é um dos materiais polímeros mais versáteis do mundo quando se é levado em consideração aspectos como métodos de processamento e suas propriedades mecânicas, podendo-se variar entre um plástico rígido cristalino, um elastômero flexível ou um gel viscoelástico.

Por essa versatilidade apresentada pelo PU, o revestimento de peças se tornou uma das suas maiores aplicações. Um dos motivos deste acontecimento é a sua alta compatibilidade com um alto número de peças, desde metais, rodízios até cilindros, entre outros. Sua utilização é recomendada quando se deseja obter uma dureza entre 50 Shore A até o 70 Shore D. devido às suas características, pode-se garantir primazia com relação à resistência mecânica e ao desgaste (SOUZA, 2013).

2.5.2 Borracha

Segundo Gameiro e Perozzi (2007) a demanda por borracha acompanha a evolução da economia mundial, pois as mesmas são matérias primas básicas para um vasto número de aplicações industriais. O mesmo autor cita a existência de dois grupos de borracha, sendo eles a borracha natural e a borracha sintética.

A respeito da borracha natural, Rippel e Bragança (2009) mencionam que

A borracha natural (NR) é um polímero de poli(cis-1,4-isopreno) e apresenta propriedades únicas devido a sua estrutura intrínseca, alta massa molar e presença de outros componentes minoritários como proteínas, carboidratos, lipídios e minerais presentes no látex. Cerca de 2500 plantas produzem látex, mas o látex da *Hevea brasiliensis* se constitui na única fonte comercial importante de látex de borracha natural.

A borracha natural possui propriedades específicas que as tornam insubstituíveis, as quais entre elas contam a resiliência, elasticidade, flexibilidade, resistência à abrasão, ao impacto e à corrosão, fácil adesão a tecidos e aço e impermeabilidade, propriedades isolantes de eletricidade, impermeabilidade a líquidos e gases e a capacidade de dispersar calor e maleabilidade a baixas temperaturas (RIPPEL E BRAGANÇA, 2009).

De acordo com Grison (2010), a borracha natural não resiste aos derivados de petróleo (solventes, óleos, combustíveis, lubrificantes) nem ao ozônio, à radiação solar (UV) e ao

intemperismo (luz, variação de temperatura, gases, poeiras, umidade). O autor menciona que a faixa de trabalho dessa borracha é de 20°C a +70°C, e a temperatura de vulcanização é realizada a 145°C, e caso a temperatura ultrapasse este valor, o material decompõe-se formando resíduo pegajoso. Devido a isso, surgiu o processo de vulcanização da borracha.

Massaro *et all* (2012) menciona que a vulcanização é um processo de preparação dos materiais elastômeros que alteram as propriedades dos mesmos através da formação de uma rede molecular utilizando um produto químico que liga as macromoléculas entre si. A partir deste processo é possível realizar um salto de um composto totalmente plástico, que através do aquecimento adequado, se torna um composto altamente elástico. O enxofre é o principal sistema atuante como vulcanizante usado pelos fabricantes de peças em borracha natural, pois oferece aos artefatos propriedades elevadas como alta tensão de ruptura, ótima resiliência e resistência à fadiga e à abrasão. A tabela 3 demonstra uma análise comparativa entre elastômeros não vulcanizados e vulcanizados.

Tabela 3 - Comparações entre elastômeros não vulcanizados e vulcanizados

Composto Não Vulcanizado	Composto Vulcanizado
Termoplástico	Termo Fixo
Pegajosos	Não Pegajoso
Baixa Viscosidade	Alta Viscosidade
Baixo Módulo	Alto Módulo
Alto Alongamento	Baixo Alongamento
Baixa Tensão de Ruptura	Alta Tensão de Ruptura
Baixa Dureza	Alta Dureza
Alta DPC	Baixa DPC
Baixa Resiliência	Alta Resistência
Alto Inchamento	Baixo Inchamento

Fonte: Massaro *et all* (2012)

É possível observar através da tabela a diferença de propriedades existentes entre os compostos não vulcanizados e vulcanizados, sendo que considerando uma aplicação industrial, a vulcanização se torna um processo indispensável na manipulação da borracha.

De acordo com Backes (2011), devido ao fato de a borracha natural ter sua produção limitada a determinadas áreas de plantio e condições climáticas específicas, surgiu a necessidade do desenvolvimento da borracha sintética com a finalidade de substituir a borracha natural. As borrachas sintéticas têm como base os copolímeros (polímeros derivados de mais de uma espécie de monômero) de estireno e butadieno e possuem grande elasticidade (CRQ-IV, 2012). A tabela 4 demonstra os principais tipos de borrachas sintéticas e suas respectivas descrições.

Tabela 4 - Principais Tipos De Borracha Sintéticas

PRINCIPAIS TIPOS DE BORRACHA SINTÉTICAS	
TIPOS	DESCRIÇÃO
SBR	SBR é o elastômero de estireno-butadieno. Apesar de ser sintético, é parecido com a borracha natural, porém, com uma elasticidade menor e maior homogeneidade. Mundialmente, é a borracha mais consumida. É utilizado na produção de pneus pequenos e médios, solados, adesivos, entre outros. Além disso, pode ser combinado com a borracha natural e com elastômeros diferentes na criação de artefatos.
EPDM	O etileno-propileno-dieno é muito resistente a luz, calor, ozônio e oxigênio. Sofre pouca deformação quando comprimido e tem boa resistência a baixas temperaturas e químicos. É muito utilizado no setor automotivo.
Viton	Esse tipo de borracha sintética apresenta grande resistência a temperaturas muito altas e baixas, bem como a fortes ataques químicos. Dessa forma, é bastante presente em tubos de aviões, automóveis, equipamentos que usam alto vácuo etc.
NBR	NBR é uma borracha nitrílica resistente aos derivados de petróleo. É muito utilizada na fabricação de peças automobilísticas, petroquímicas e gráficas.
Neoprene	A borracha neoprene pode ser obtida a partir do acetileno e do gás clorídrico. Entre suas aplicações, estão correias, artefatos moldados, extrudados, revestimentos de cilindros, impermeabilização, adesivos etc.
HNBR	HNBR, ou borracha de acrilonitrilo butadieno hidrogenado, é um material com elevada resistência a temperaturas baixas e altas, além de resistir bem à compressão no calor e manter a flexibilidade no frio. Seu uso é mais comum no campo automotivo e da engenharia mecânica.
Borrachas especiais	Um exemplo de borracha especial é a de silicone. Elas são aplicadas em isolamentos elétricos e aguentam temperaturas altas e baixas. São também muito usadas em ferramentas médicas e para revestir máquinas e equipamentos.

Fonte: Adaptado de Poleflex Vedações (2021)

É possível observar pela tabela que existe uma vasta gama de tipos de borracha sintética, cada qual com propriedades específicas que permitem a diferente aplicabilidade dentro do mercado de trabalho.

2.5.3 Cerâmica

Segundo a Associação brasileira de cerâmica (ABCERAM) a cerâmica pode ser definida como todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.

Segundo Motta (2001), pelo fato de o setor cerâmico ser amplo e heterogêneo, existem subdivisões de grupos relacionados a fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. A tabela 5 demonstra essas subdivisões:

Tabela 5 - Classificação dos produtos cerâmicos

CLASSIFICAÇÃO			PRODUTO	Matéria-prima										Processo de conformação	Temperatura de Queima (°C)									
Tipo de cerâmica	GRUPO / SETOR			Plástica		Não-plástica						Moagem via úmida	Moagem via seca		Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200
				Argila comum	Argila plástica	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo													
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica	Blocos, lajes	P									P											
		Vermelha	Telha	P				O					P	P										
			Agregado leve	P							O		P											
	2	Cerâmica Branca	Grés sanitário		P S	P	O		S	O	P													
			Porcelana Mesa		P	P				P	P	P	S	S		O								
			Porcelana Eletr.		P	P				P	P	P	S	S		O								
			Faiança		P O	S S	S	P	S		P					P								
			Pisos rústicos	P	O							O		P										
	3	Revesti-mentos	Pisos via seca	P								P			P									
			Azulejo		P P			O S	S		P				P									
			Piso gresificado	O	P S	S P	O		S		P		O		P									
			Grês porcelânico		P S	P		O	S	O	P				P									
Outras	4	Refratários			O				O	P														
	5	Isolantes				O				O	P													
	6	Especiais								O	P													
	7	Cimento	S						P S	O	P													
	8	Vidro				S			S P	P														
P	Processo ou composição principal (> 20%)		S	Processo ou composição secundária (< 10%)								O	Processo ou composição ocasional											

Fonte: Motta (2001)

Pela tabela é possível observar a classificação dos grupos de cerâmicas, cujo segundo a Associação Brasileira de Cerâmica classifica estes grupos em cerâmica vermelha, materiais de revestimento, cerâmica branca, materiais refratários, isolantes térmicos, fritas e corantes, abrasivos, vidro cimento e cal e cerâmica avançada.

A cerâmica de alta alumina é uma das cerâmicas mais utilizadas nas indústrias e empresas devido ao fato de possuir uma combinação de propriedades mecânicas e elétricas que faz com que tenha uma gama ampla de utilizações. Dentre as principais características

podemos citar: alta dureza, estabilidade térmica, boa resistência à corrosão, inerte quimicamente, isolante elétrico, temperaturas de trabalho de até 1200°C, geralmente aplicados em tubulações, placas ou sob a forma de pastilhas (STAINER, 1996).

2.5.4 Borracha com cerâmica

A utilização da borracha com pastilhas de cerâmica como forma de revestimento é uma metodologia com início da aplicação recente e que cada vez mais vem ganhando espaço no mercado. Pelo fato de conseguir mesclar tanto características de absorção de impacto da borracha quanto características de resistividade a abrasão da cerâmica, a combinação de borracha com cerâmica pode agregar bastante a vida útil de uma peça ou equipamento e torna ainda maior o leque de variedades de aplicações dentro de variadas condições operacionais de trabalho que pode ocorrer no cotidiano de empresas de diversos ramos (CERAMITEC, 2023).

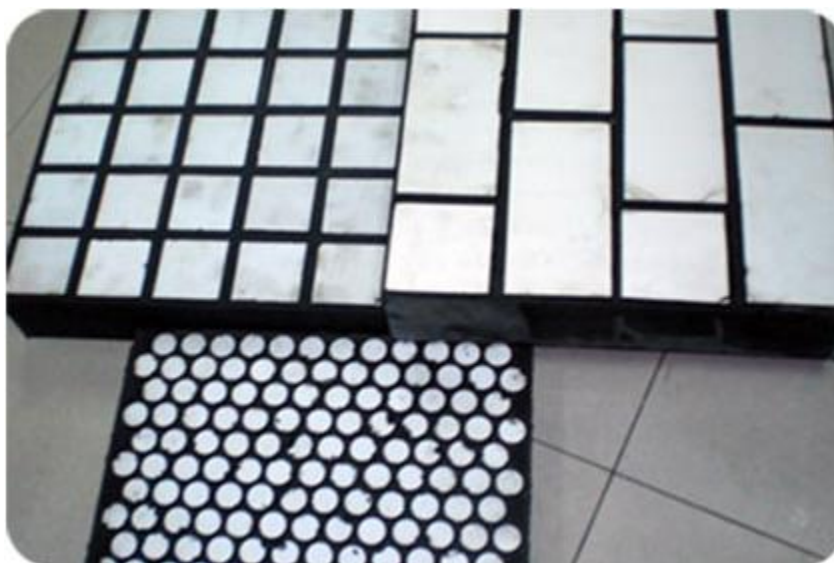


Figura 15 - Placas de borracha com cerâmica
Fonte: PollyRubber (2023)

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa

Segundo Tozoni (2007), o conceito de pesquisa pode ser dado como uma investigação, indagação ou uma dúvida que leva à busca de conhecimento. Em outras palavras, é o processo de produção de conhecimento.

Segundo Gil (2002), o objetivo da pesquisa exploratória é aprimorar hipóteses, validar instrumentos e proporcionar familiaridade com o campo de estudo. Em um estudo amplo, essa pesquisa se encontra como a primeira etapa de estudo, podendo ser aplicada em estudos iniciais para se obter uma visão geral acerca de determinados fatos.

Para Gerhardt (2009), a pesquisa qualitativa é uma abordagem de pesquisa que visa a exploração de aspectos subjetivos de fenômenos sociais e comportamentos, que ocorrem em um determinado tempo, local e cultura. Nesta pesquisa, não existe fundamentação em estatística e sim em dados extraídos, de maneira indutiva e recorrente. A preocupação dos resultados não é pela representatividade numérica, e sim pela compreensão aprofundada.

Segundo Macedo (1996), a pesquisa bibliográfica é a busca de informações a partir do levantamento ou revisão de obras publicadas sobre a teoria de um determinado assunto que irá direcionar e servir como base para alguma pesquisa científica. Segundo Gil (2002), a pesquisa é desenvolvida com base em material já existente, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

O estudo de caso é uma pesquisa baseada na análise de um fenômeno atual em seu contexto real e as variáveis que o influenciam. É um procedimento metodológico que se envolve em um estudo profundo de um ou poucos objetos, de maneira que se consiga o máximo de informações e conhecimento de algum determinado assunto (GIL, 2007).

Este trabalho consta com a pesquisa exploratória e bibliográfica para a realização de busca de dados e referências já existentes, o estudo qualitativo a fim de se realizar uma análise comparativa entre os três materiais em questão e o estudo de caso para coleta de dados voltados para a realidade de uma empresa.

3.2 Materiais e métodos

A metodologia geral deste trabalho é apresentada na Figura 16.



Figura 16 - Fluxograma geral da monografia
Fonte: Pesquisa direta, 2023

A metodologia geral para elaboração do estudo contida neste trabalho, se baseia na realização de um estudo prévio a respeito do tema, ou seja, a realização de uma revisão bibliográfica a respeito de mineração, tubulações, metodologia kaizen, desgaste, revestimento, borracha, poliuretano e cerâmica.

Uma segunda etapa do trabalho consiste no acompanhamento do processo de fabricação de tubulações revestidas através do contato direto com empresas fabricantes destes produtos. O foco desta etapa se baseia na busca de informações sobre os processos de fabricações, as desvantagens, vantagens, dificuldades e aplicabilidades que cada material (basalto, cerâmica e poliuretano) enfrentam durante o processo de fabricação como um todo.

Para análise prática da aplicação do revestimento de borracha, borracha com cerâmica e poliuretano em tubulações de aços, será realizado a busca de casos cujo contaram com a utilização da metodologia kaizen, tanto de sucessos quanto de fracassos, com profissionais com contato a área mineradora, com o intuito de conseguir realizar uma coleta de dados visando a realidade e realizar uma análise comparativa entre os três tipos de materiais foco neste estudo.

Após a coleta de dados, é realizada uma análise comparativa através de tabelas do Excel, visando uma melhor apresentação e visualização dos dados obtidos e assim garantindo

uma facilitação na elaboração de um relatório apresentando qual seria a melhor escolha a respeito de qual material é o melhor para determinadas aplicações.

3.3 Variáveis e indicadores

Segundo Francisco (2007), pode-se definir variáveis como sendo a quantidade de valores diferentes que algo possa assumir, seja levando em consideração aspectos qualitativos ou quantitativos. Já indicadores, segundo Mitchell (1996), é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Ou seja, podemos dizer que para medir determinadas variáveis, é utilizado os indicadores como ferramentas.

Para a realização do estudo presente neste trabalho, foram levantados fatores que possuem grande influência nos pontos de pesquisa, os quais são apresentados na tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Variáveis e indicadores da pesquisa

Variáveis	Indicadores
Revestimentos	Durabilidade
Poliuretano	Preço
Borracha	
Borracha com cerâmica	

Fonte: Pesquisa direta, 2023

3.4 Instrumento de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada através de contato direto com empresa fornecedora de peças, equipamentos e sobressalentes de itens de mineradora, de maneira a realizar o acompanhamento de processos e busca de informações.

3.5 Tabulação de dados

As informações coletadas foram repassadas para documento word e logo após filtradas para que neste trabalho apresente somente aquilo que gere relevância ao estudo.

A tabulação de dados quantitativos foi realizada através de planilhas de Excel, onde os valores foram compilados e organizados. Os dados qualitativos foram comparados relacionando diferentes situações e destacando aquele que se mostrou mais benéfico para a empresa em questão.

3.6 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo do estudo foram apresentados as ferramentas e métodos utilizados para concretização dos objetivos citados inicialmente, cujo os instrumentos escolhidos estão de acordo com o estudo proposto.

No próximo capítulo serão apresentadas as informações e dados coletados através das entrevistas, para serem analisados e discutidos de maneira clara e objetiva a fim de conseguir atingir a resposta das questões e concluir os objetivos impostos pelo estudo.

4 RESULTADOS

4.1 Empresa em estudo

A empresa em estudo está localizada na região de Minas Gerais na cidade de Itabirito, apresenta por volta de 400 funcionários e consta com mais de 40 anos de história e know-how na fabricação de artefatos de borracha, porém se reinventou algumas vezes para atender às variadas demandas do segmento em que atua. Atualmente oferece um variado leque de soluções para as diversas necessidades, incluindo seu ramo principal que é equipamentos e sobressalentes destinados a área da mineração, e entre elas, revestimentos em poliuretano, fabricação de válvulas e o fornecimento de resinas especiais anti-desgaste, isso além de novos desenvolvimentos e produtos originais buscando atender cada especificação e necessidades de cada cliente.

Para melhor organização, a empresa desenvolve um fluxo de processos o qual é descrito na figura 17 abaixo:

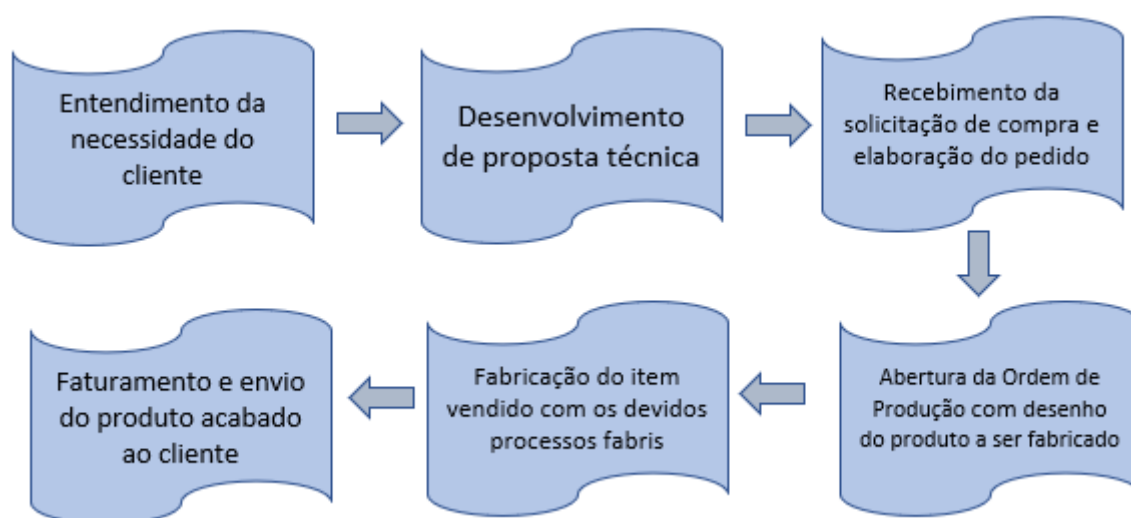


Figura 17 - Fluxograma de processos da empresa em estudo
Fonte: Pesquisa direta, 2023

É possível perceber que o fluxo de processos tem seu início através do contato com o cliente, para assim entender se o projeto irá constar com algum produto padrão de venda de mercado, se tratar de algum processo de melhoria ou até mesmo se tratar de um projeto completamente novo o qual pode contar ou não com auxílio da equipe de engenharia presente na empresa. A partir daí, é dado todo o processo de organização e estruturação interna da

empresa afim de conseguir entregar a demanda ofertada dentro do prazo e com o maior índice de qualidade possível.

4.2 Processo de fabricação de tubulações de aço revestidas

Para a realização e coleta de dados a respeito das tubulações de aço revestidas de poliuretano, borracha e borracha com cerâmica, foi realizado a troca de informações com vários profissionais altamente qualificados e de variados setores da empresa, de maneira que foi possível realizar a coleta de informações a respeito da fabricação de cada tipo de tubulação revestida citada neste trabalho.

4.2.1 Tubulações revestidas

As tubulações revestidas são um dos materiais mais solicitados para prevenção de desgastes em tubulações. Entre os diferentes tipos de revestimentos aplicados a uma tubulação, os principais são a tubulação de aço e poliuretano, tubulação de aço e borracha e tubulação de aço borracha e cerâmica.

4.2.1.1 Tubulações de aço

O processo de fabricação de uma tubulação de aço revestida tem o seu início com o processo de verificação dos itens estocáveis a fim de saber se atendem à demanda exigida ou, caso contrário, a da realização da compra da matéria prima para a fabricação da tubulação. A primeira parte da fabricação é a realização da parte metálica da tubulação que consiste em um tubo de aço com dimensionais solicitados pelo cliente ou pelo projeto, flanges e pestanas, sendo que podem seguir normas existentes ou ser itens de uma demanda especial.

Os flanges são peças de aço que sofrem o processo de soldagem nas extremidades dos tubos de aço, e tem a finalidade de possibilitar a fixação de uma tubulação a outra através de parafusos. Existem variados modelos de flanges e determinadas normas que regem os seus dimensionais, classe de pressão e aplicações. A figura 18 demonstra uma parte do catálogo de um dos fornecedores citando o modelo de flange mais adotado pela empresa em estudo quando relacionado a tubulações de aço.

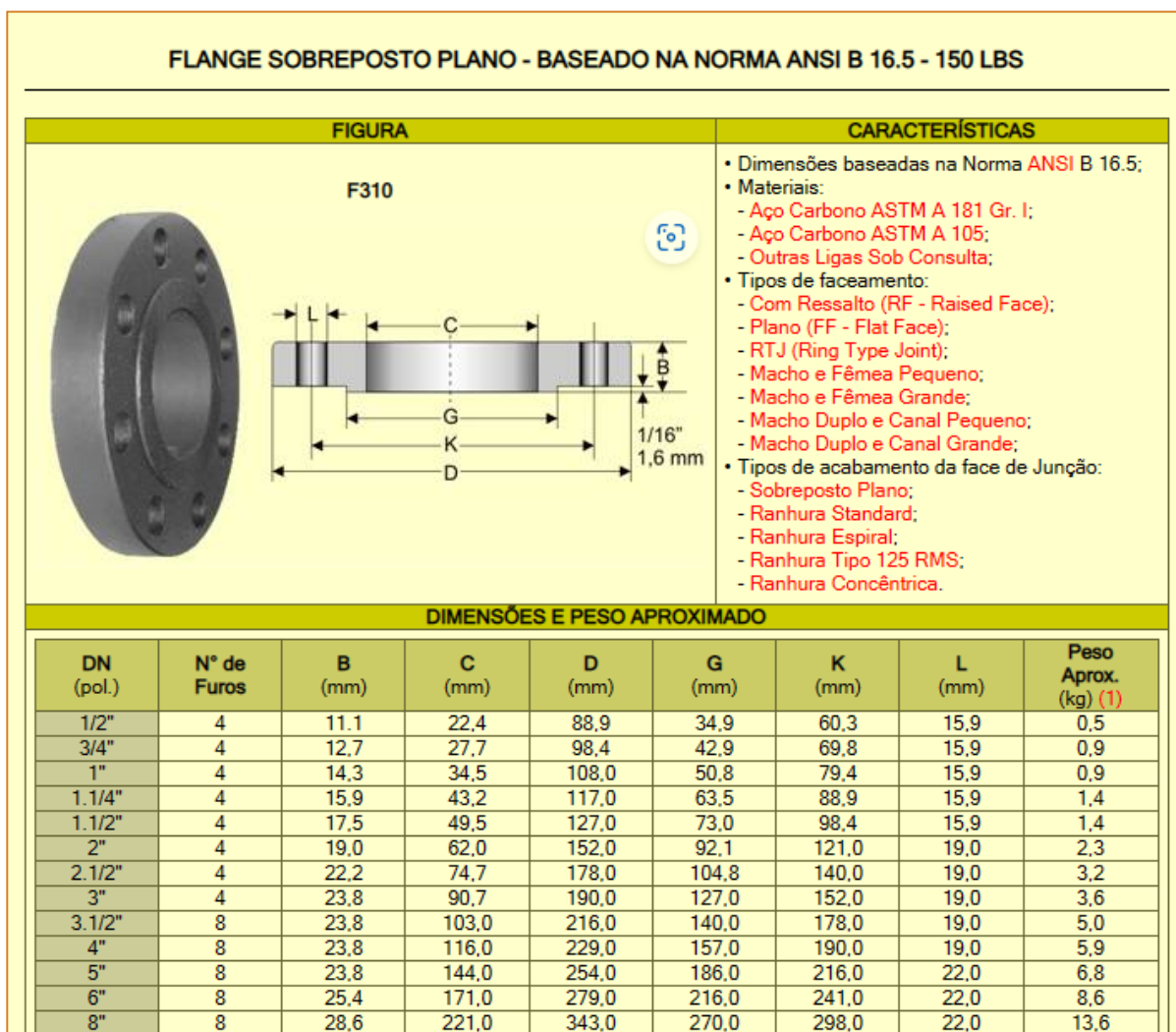


Figura 18 - Flanges catalogados segundo norma ANSI B16.5

Fonte: Valaço (2023)

O flange mencionado na imagem pode ser facilmente encontrado em uma vasta quantidade de fornecedores, já que os mesmos seguem uma norma padrão existente em mercado. Pode existir casos específicos da utilização de algum flange o qual as suas características fogem os parâmetros habituais situados na norma, isso devido a necessidade especial de cada cliente, nesses casos é possível acionar um fornecedor para realizar a fabricação do flange com os dimensionais solicitados fora do padrão ou até mesmo realizar o corte interno destes flanges utilizando uma máquina de corte a plasma.

Em alguns casos, para facilitar o acoplamento dos parafusos na junção de uma tubulação a outra, os flanges não são diretamente soldados na tubulação de aço, e assim são conhecidos como flange solto. Para que este flange solto fique preso na peça e ao mesmo tempo consiga girar em volta do tubo, a tubulação passa a constar com um anel (também conhecido como pestana) soldada no tubo de aço com a única finalidade de não deixar o

flange cair da peça. Existe norma para estes flanges soltos e anéis, de maneira que um exemplo deles podem ser vistos através de uma parte do catálogo demonstrado na figura 19.

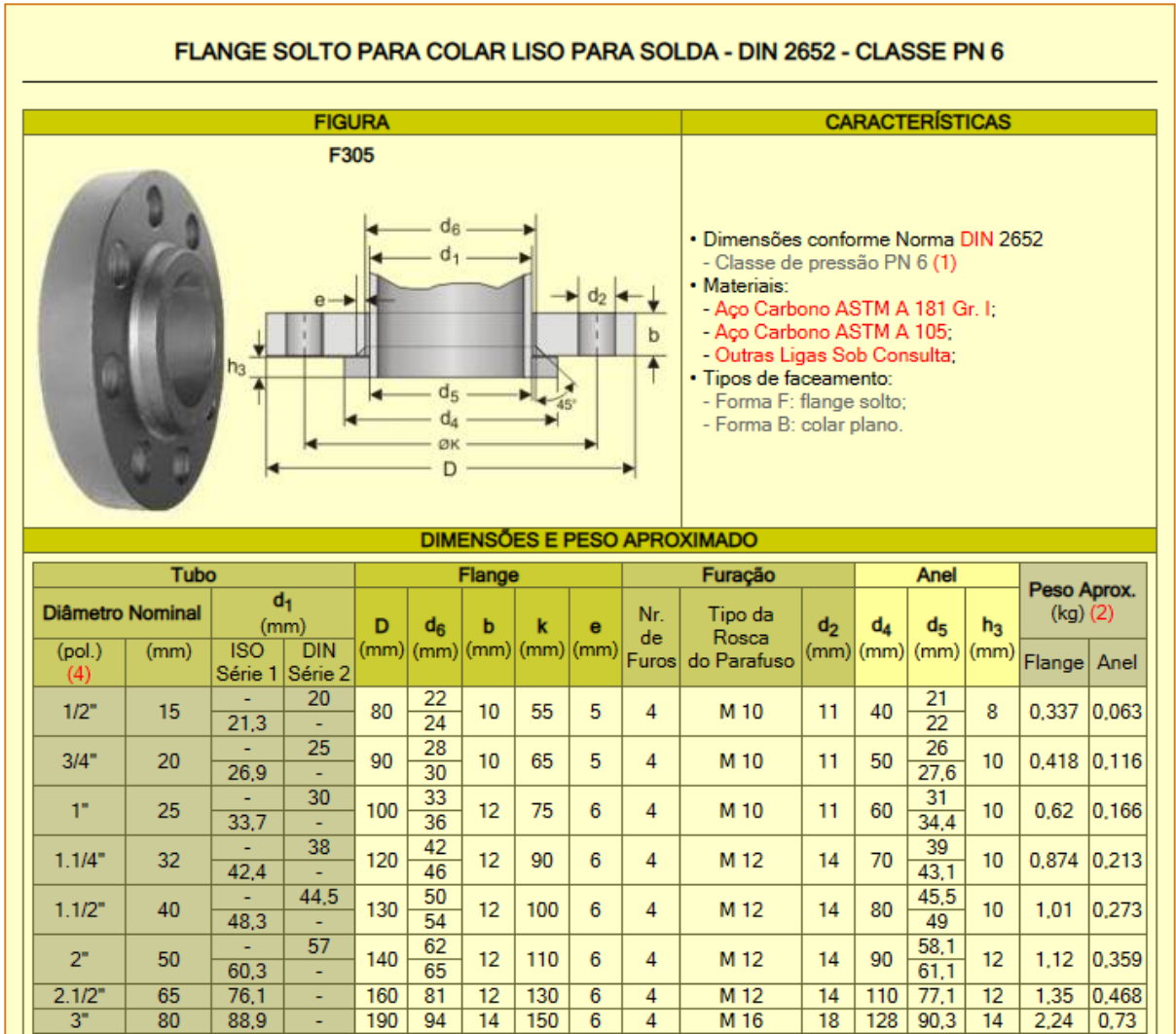


Figura 19 - Flanges soltos catalogalogados
Fonte: Valaço (2023)

Como é possível observar na figura, o anel possui um dimensional menor que o flange e não consta com furos para a passagem do parafuso, sendo a única exigência que ele possua o diâmetro externo superior ao dimensional do interno do flange, para que assim ele supra a necessidade de conseguir conter a passagem do flange e segura-lo na peça. A figura 20 demonstra tubulações com os flanges já soldados.



Figura 20 - Tubos com flanges soldados
Fonte: Pesquisa direta (2023)

É possível observar pela imagem que todos os componentes metálicos já constam unidos e transformados em uma única peça. Vale ressaltar que esse processo de soldagem ocorre dentro da caldeiraria da empresa.

Com os flanges e pestanas já soldadas no tubo, é realizado a parte do jateamento, que se baseia em fazer com que a superfície externa e interna do tubo sofra um jateamento de alta pressão de granalhas de aço com a finalidade de fazer com que o aço fique com uma superfície livre de impurezas e garantir que tanto o revestimento que irá ir no interno do tubo quanto a pintura que irá ir na superfície externa do tubo tenha uma melhor qualidade e sem imperfeições. Com a tubulação de aço já montada com flanges e pestanas e jateada, é chegado a etapa de realizar o revestimento da tubulação

4.2.1.2 Tubulações de Aço revestida de Poliuretano

Para a implantação do revestimento de poliuretano na tubulação de aço, é utilizado um equipamento de centrifuga, o qual o tubo é preso a este equipamento através de parafusos fixados pelo flange. A figura 21 demonstra o equipamento de centrífuga.



Figura 21 - Equipamento centrífuga
Fonte: Pesquisa direta (2023)

A tubulação de aço é fixada a centrífuga através de tampas que permitem o aparafusamento entre os flanges do tubo de aço e a máquina centrífuga, possibilitando assim com que seja possível realizar o movimento de rotação.

O PU é fundido a uma temperatura de 100°, e é adicionado ao interno do tubo já acoplado à centrífuga. A máquina é ligada e o tubo começa a realizar movimentos circulares em torno do seu eixo horizontal. Esse movimento faz com que o PU fundido deslize por toda a área interna do tubo de maneira uniforme, isso devido a força centrífuga aplicada ao PU fundido durante o movimento de rotação. Com o passar do tempo, o PU começa a secar e a ganhar forma. Quando o PU obtém uma forma sólida, ele é retirado do equipamento e levado até uma estufa, onde o calor faz com que a finalização da etapa de secagem do PU ocorra de forma mais acelerada e possibilitar o ganho das propriedades ao material. Quando o PU é 100% seco, a tubulação já revestida é retirada da estufa e tem destino a seu processo final que é a pintura externa da tubulação. A figura 22 consta a imagem de uma tubulação de aço revestida de PU.



Figura 22 - Tubulação de aço revestida de poliuretano
Fonte: Pesquisa direta (2023)

Pode-se observar pela figura o tubo completo e apto a ser encaminhado até o cliente, para que assim o mesmo possa ser implementado a uma linha de tubulações e realizar a sua função de levar algum material de um ponto a outro.

A equipe laboratorial da empresa em estudo realizou testes encima do poliuretano utilizado na empresa, possibilitando assim coletar alguns dados técnicos que são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Informações Técnicas Poliuretano

INFORMAÇÕES TÉCNICAS POLIURETANO	
DUREZA SHORE A	84A
TENSÃO DE RUPTURA	34,4 Mpa
ALONGAMENTO	490%
RESISTÊNCIA AO RASGO, SPLIT	13.1 KN/m
RESISTÊNCIA AO RASGO, DIE C	92.8 KN/m
RESILIÊNCIA (BAYSHORE)	58%
DEFORMAÇÃO PERMANENTE A COMPRESSÃO @70°C, 22 HRS	25%
PESO ESPECÍFICO	1.07

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

Os dados apresentados na tabela são valores que representam uma média dos diversos testes realizados nos diferentes lotes de poliuretano utilizados dentro da empresa. É válido ressaltar que casos específicos de necessidade de cliente podem resultar em uma utilização de um poliuretano modificado com adicionais de compostos químicos em sua composição destinado a aumento ou diminuição de alguma propriedade como dureza ou resiliência.

4.2.1.3 Tubulações de aço revestidas de borracha e cerâmica

O procedimento para a realização da implantação do revestimento de cerâmica em uma tubulação de aço pode ser feito de duas maneiras: através de uma manta de borracha e cerâmica ou através da colagem da cerâmica direto no aço através de resina. A metodologia mais vendida e que será detalhada neste trabalho é através da manta de borracha com cerâmica.

A borracha utilizada nesse processo é a borracha natural, formada com moléculas de isopreno (metilbut-1,3-dieno) e, antes de sua aplicação final, é adicionado vários ácidos ou sais conservantes destinados a realizar um processo de retirada de possíveis contaminantes. A mesma é obtida através da extração do látex da árvore seringueira. Vale ressaltar que essa borracha natural, em seu estado denominado como borracha crua, apresenta características prejudiciais para a industrialização e fabricação de peças, como a baixa resistência à tração, solubilidade em solventes orgânicos, facilidade de ser oxidada e baixa resistência ao calor e à variação de temperatura. Por isso é necessário fazer com que a borracha crua passe por um processo de vulcanização, que se baseia na adição de enxofre à borracha, sob aquecimento e com o uso de catalisadores, possibilitando assim adquirir propriedades como boa resistência à tração, boa elasticidade, resistência ao calor (80°-90° C), boa flexibilidade a baixas temperaturas (até aproximadamente -55°), excelentes propriedades dinâmicas, alta permeabilidade ao gás, etc.

A fabricação da manta de borracha com cerâmica é realizada através de um equipamento de prensagem. É utilizado uma matriz o qual em sua base é adicionado uma camada de borracha crua. Acima dessa camada são alocadas as cerâmicas na disposição desejada e preenchido os espaços entre elas também com borracha crua. A matriz então é levada até o equipamento prensa e a mesma é ligada fazendo com que a matriz se aqueça e consequentemente aqueça a borracha a uma temperatura o suficiente que possibilite que a borracha tome a forma da matriz além de possibilitar o processo de vulcanização da própria

borracha a fazendo adquirir as propriedades desejadas. Quando a borracha termina de realizar o seu processo de adaptação a forma da matriz, o equipamento prensa é desligado e a peça é resfriada, faltando apenas o processo de acabamento e retoques finais.

Com a manta apta a ser utilizada, é realizada a preparação do tubo de aço para receber a mesma. É passado cola específica para elastômeros em toda a superfície interna do tubo de aço e logo após a manta de borracha é pressionada contra esta cola, realizando assim a fixação da mesma. Para facilitar essa prensagem da manta contra o tubo, pode-se utilizar um equipamento chamado torpedo, o qual é adicionado no interior da borracha dentro do tubo e é adicionado ar comprimido, fazendo o mesmo inflar e pressionar a manta contra o tubo. De acordo com o dimensional da tubulação, às vezes é necessário utilizar um número maior de mantas ou então realizar o recorte de alguma para diminuir o seu tamanho. Após esse processo, o tubo revestido tem a sua parte externa pintada

A figura 23 demonstra a tubulação revestida com a manta de borracha e cerâmica



Figura 23 - Tubulação de aço revestida de borracha e cerâmica
Fonte: Pesquisa direta (2023)

É possível observar que a tubulação já se encontra revestida com a manta de borracha com cerâmica, apta a passar pelo processo de pintura e logo após atender as expectativas do cliente e desenvolver perfeitamente a sua funcionalidade.

Através da utilização do laboratório da empresa em estudo, foi possível coletar alguns dados técnicos relacionados a cerâmica utilizada para fabricação da manta, os quais são demonstrados na tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Informações Técnicas Cerâmica De Alta Alumina

INFORMAÇÕES TÉCNICAS CERÂMICA DE ALTA ALUMINA	
DUREZA VICKERS @20°C	9 GPa
MÓDULO DE YOUNG	270 Gpa
MÓDULO DE CISALHAMENTO	110 Gpa
TEOR DE ALUMINA	92%
DENSIDADE	3.62g/cm ³
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO @20°C	1,77 Gpa
TEMPERATURA DE TRABALHO (MÁX)	1250 °C

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

Os dados apresentados na tabela são valores que representam a pastilha de cerâmica utilizada dentro da empresa, cujo possui um total de presença de 92% de alumina. Existem pastilhas de cerâmica com diferentes porcentagens de alumina e consequentemente, diferentes valores de dados técnicos como dureza, modulo de Young, densidade, etc.

4.2.1.4 Tubulações de aço revestida de borracha

O processo de fabricação da tubulação de aço revestida apenas de borracha é bastante similar ao processo de fabricação da tubulação de aço revestida com manta de borracha com cerâmica. A diferença se dá no fato de ao invés de se utilizar a manta de borracha e cerâmica, é utilizado um lençol de borracha crua.

Esse lençol de borracha crua é recortado do tamanho desejado afim de melhor se adequar ao dimensional da tubulação, e com o auxílio de uma cola específica para aderência de elastômeros, esses lençóis são alocados e pressionados em toda área superficial do interno do tubo. Quando a cola já está seca e o lençol bem fixado, a tubulação já constará com o revestimento de borracha, porém é um revestimento que não apresenta tantas vantagens devido às propriedades da borracha crua não serem aptas às aplicações industriais. Por causa disso, é necessário realizar a vulcanização da borracha para fazê-la adquirir propriedades adequadas ao cotidiano de empresas. Essa vulcanização é realizada através de um equipamento chamado autoclave, o qual consiste em manter a tubulação já revestida com borracha crua a

uma temperatura elevada, por meio do contato com vapor de água sob pressão. Dessa maneira, a borracha adquire as propriedades desejadas e a tubulação, ao sair da autoclave, já está apto a ir para o último passo que se baseia na pintura externa do tubo. A figura 24 mostra a autoclave.

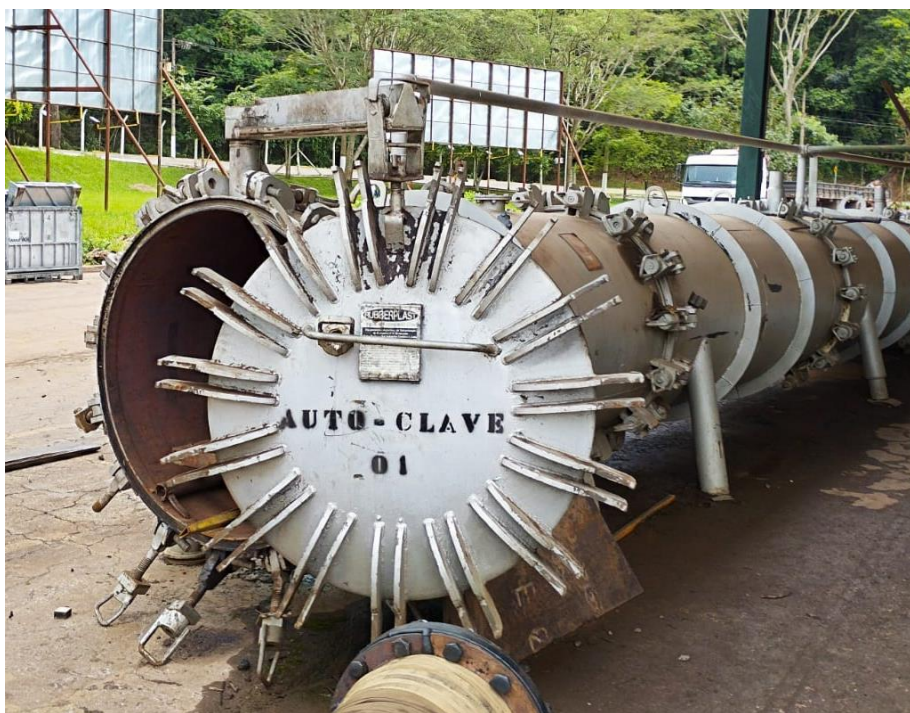


Figura 24 - Autoclave
Fonte: Pesquisa direta (2023)

É possível observar pela figura que a parte interna da auto clave deve possuir dimensional grande o suficiente para que seja possível adentrar completamente a tubulação de aço revestida de borracha. Devido aos diversos dimensionais de tubulações existentes, existem também autoclaves de diferentes tamanhos.

A figura 25 demonstra uma tubulação de aço revestida de borracha apta a ser mandada ao cliente.



Figura 25 - Tubulação de aço revestida de borracha
Fonte: Pesquisa direta (2023)

É possível observar através da figura que a tubulação de aço revestida de borracha é bastante semelhante com a tubulação de aço revestida de poliuretano, porém, devido a alteração de revestimento, a diferença entre vida útil e preço de venda podem variar bastante.

Através de estudos e coletas de amostras, o laboratório da empresa em estudo conseguiu coletar alguns dos dados técnicos da borracha, cujo pode ser observado através da tabela 9.

Tabela 9 - Informações Técnicas Borracha

INFORMAÇÕES TÉCNICAS BORRACHA	
DUREZA SHORE A	50A
RESILIÊNCIA (BAYSHORE)	60%
DENSIDADE HIDROSTÁTICA	1.075 g/cm ³
RESISTÊNCIA A ABRASÃO	165 mm ³

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

Os dados apresentados na tabela são valores que representam uma média dos diversos testes realizados nos diferentes lotes de borracha utilizados dentro da empresa.

4.3 Estudos de casos

Os dados e informações presente neste trabalho foram coletados através de conversa com profissionais experientes e qualificados da empresa em estudo, o quais tiveram contato direto com diversas empresas mineradoras além de realizar diversos relatórios de melhorias e de performance sobre peças e equipamentos. Porém, por motivos de privacidade de know-how, nem todos os dados foram apresentados neste trabalho.

4.3.1 Caso 01

Esse primeiro relato de caso se deu em um ocorrido acontecido em uma empresa localizada entre os municípios de Ouro Preto e Congonhas e pertencente ao quadrilátero ferífero de Minas Gerais, com um quadro de 450 colaboradores diretos e com excelência nos processos de extração, beneficiamento e comercialização de minério de ferro.

O conjunto de tubulação em questão fazia parte da linha conectada a um separador eletromagnético de carrossel, que é um equipamento utilizado para o processamento de minérios moídos com dimensional abaixo de 2,0mm, ou seja, uma granulometria fina, cujo objetivo é de realizar a separação magnética dos minerais ferrosos e fracamente magnéticos, contidos no minério.

Inicialmente, a linha de tubulações que essa área continha, era composta por tubos de aço revestidos de borracha, tendo em média uma duração de 2 anos. Visando aumentar essa vida útil da tubulação para evitar paradas de manutenção, essa empresa entrou em contato com a empresa em estudo para a realização de uma análise e uma possível solução. Utilizando a metodologia kaizen, a solução mais viável encontrada foi a troca da linha de tubulações sendo que, ao invés de contar com os tubos feitos de aço e borracha, passaria a ser uma tubulação composta por tubos de aço e poliuretano. Com esse novo revestimento, a tubulação teve um aumento considerável de vida útil, passando a ter uma durabilidade de 5 anos. A tabela 10 demonstra a diferença de vida útil entre os dois revestimentos.

Vale ressaltar que diante todos os fatores que compunham as especificações deste projeto, um deles que mais agregou valor a escolha é a baixa granulometria do material que passa dentro da tubulação.

Tabela 10 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 1

Análise comparativa entre os revestimentos	
Tipos	Vida Útil (meses)
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA	24
AÇO REVESTIDO DE POLIURETANO	60

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

4.3.2 Caso 2

Este segundo relato de caso aconteceu em uma empresa especializada na exploração, processamento, transporte e comercialização de minerais metálicos, principalmente o cobre, estando localizada no sudeste do Pará.

Inicialmente existiam dois tipos de tubulações que eram predominantes nessa empresa de extração de cobre, sendo a tubulação de aço revestida de borracha e a tubulação CDP (uma placa de aço carbono ASTM A-36 revestida por processo de soldagem que utiliza um arame tubular, gerando uma placa com alta dureza).

Para realização da melhoria, esta empresa procurou uma solução afim de aumentar a vida útil da tubulação de aço revestida de borracha. Após devidas análises e rotação do ciclo kaizen, a equipe de engenharia deu a sugestão da substituição da tubulação de aço revestida com borracha pela linha de tubulação de aço revestida de borracha com cerâmica. A presença da cerâmica é ideal para situações de extremo desgaste por possuir alta dureza, estabilidade térmica, boa resistência à corrosão, servir como isolante elétrico, além de ser super resistente à altas temperaturas, suportando trabalho a 1200°C. Esse conjunto de qualidades proporcionou um aumento considerável de vida útil da linha de tubulações, chegando a durar 3,5 vezes mais. A tabela 11 demonstra a diferença de durabilidade entre os dois revestimentos.

Tabela 11 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 2

Análise comparativa entre os revestimentos	
Tipos	Vida Útil (meses)
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA	2
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA + CERÂMICA	7

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

4.3.3 Caso 3

O terceiro caso estudado aconteceu também em uma empresa situada na região do quadrilátero ferrífero, porém situada em Itabira. Essa empresa atua no ramo de exploração e beneficiamento do minério de ferro.

A linha em questão que a empresa solicitava o desenvolvimento de uma melhoria estava ligada a um espessador, que são caracterizados como tanques e tem o objetivo de agrupar sedimentações ao longo do processo de separação sólido líquido. Essa linha inicialmente era composta de tubos de aço revestidos de poliuretano, porém, o mesmo apresentava baixo rendimento relacionado a vida útil, sendo necessárias paradas constantes para a realização da troca de tubos.

Após procura de uma solução através da metodologia kaizen para essa situação, a equipe de engenharia sugeriu uma ação visando aumentar num nível elevado a durabilidade desta linha, sendo ela a substituição da linha de tubulação de aço e poliuretano por uma linha de tubulação composta por tubos de aço revestida de borracha com cerâmica. O resultado foi um aumento de vida útil dessa linha de 2 vezes mais. A tabela 12 demonstra a comparação entre tempo de vida útil dos dois revestimentos.

Tabela 12 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 3

Análise comparativa entre os revestimentos	
Tipos	Vida Útil (meses)
AÇO REVESTIDO DE POLIURETANO	2
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA + CERÂMICA	6

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

4.3.4 Caso 4

O quarto caso o qual houve uma coleta de dados ocorre em uma empresa localizada na Bahia, com o principal ramo de atuação sendo a área de extração de Vanádio, um mineral nobre fundamental na produção de aços leves e de alta resistência, além de ligas de Titânio Alumínio, consumidos, por exemplo, pela indústria aeroespacial.

O local de melhoria solicitado nesta empresa, foi a linha de tubulação de coletor do separador magnético, que é um equipamento destinado a retenção de todas as partículas ou peças ferromagnéticas que entrarem em contato com seu campo magnético.

Inicialmente, essa linha de tubulação era composta apenas de tubos de aço, ou seja, sem conter nenhum tipo de revestimento. Isso ocasionava um contato direto entre o fluido, no caso polpa de minério, com o aço, possibilitando uma maior abrasão e corrosão do mesmo e tornando a sua vida útil em apenas 1 mês.

Essa linha com apresentação de uma vida útil baixa, ocasionava uma perda muito grande de lucros, devidos a paradas de manutenção e trocas. A melhoria sugerida, pós utilização da metodologia kaizen, para evitar esse acontecimento foi a substituição da linha composta de tubos apenas de aço por tubos de aço revestidos de poliuretano. Com esse novo revestimento, a linha passou a ser mais duradoura, já que as propriedades do poliuretano diminuíram drasticamente a abrasividade e a corrosão dentro dos tubos, aumentando assim a vida útil da tubulação para quatro anos e meio. A tabela 13 demonstra a diferença de durabilidade entre um tubo sem revestimento e um com revestimento de poliuretano.

Tabela 13 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 4

Análise comparativa entre os revestimentos	
Tipos	Vida Útil (meses)
AÇO	1
AÇO REVESTIDO DE POLIURETANO	174

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

4.3.5 Caso 5

O quinto caso mencionado neste trabalho relata uma situação ocorrida em uma empresa mineradora de ouro localizada no norte de Minas Gerais. A linha de tubulações o qual era necessário a aplicação de uma melhoria ficava localizada no recalque de uma bomba de polpa, ou seja, recebendo o fluxo de que sai da bomba de polpa que apresenta uma grande pressão.

Inicialmente, esta linha era composta por uma tubulação composta por tubos apenas de aço, sem contar com nenhum revestimento, ocasionando assim uma vida útil de 4 a 5 meses. Essa durabilidade estava se tornando improdutiva para a empresa e por causa disto, juntamente com a equipe de engenharia da empresa fornecedora em estudo, foi traçado melhorias utilizando o kaizen afins de aumentar a vida útil da linha.

A primeira ideia de aplicação de melhoria foi a substituição da tubulação composta por tubos de aço, por tubos de aço revestidos com borracha, fato que fez com que a linha durasse por volta de 1 ano, quase o dobro do tempo comparado com a linha anterior.

Porém, a melhoria não parou por aí. Visando obter melhores resultados ainda, essa tubulação de tubos de aço revestidos de borracha foi posteriormente substituída por tubos de aço revestidos de borracha e cerâmica. Essa alteração possibilitou uma durabilidade da linha de 2 anos e meio, ou seja, comparado com o processo inicial, foi possível alcançar uma vida útil 2,5 vezes maior. A tabela 14 demonstra a diferença de vida útil relacionado aos diferentes revestimentos.

Tabela 14 - Análise comparativa entre os revestimentos – caso 5

Análise comparativa entre os revestimentos	
Tipos	Vida Útil (meses)
AÇO	5
AÇO REVESTIDO DE POLIURETANO	12
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA + CERÂMICA	30

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

4.3.6 Análise dos casos

Em todos os casos mencionados e que embasaram a coleta de dados, houve o auxílio da metodologia kaizen, sendo que sempre se é traçado um ciclo de melhoria continua, sendo primeiro realizado a coleta de informações do cliente e relatado a realidade e as dificuldades do cliente, seguido de identificação dos pontos a serem mudados e dado início ao planejamento das ações a serem tomadas. Após as ações serem tomadas e concluídas, foi verificado se as mesmas tiveram resultados positivos, e se sim, essa ação é tomada como sendo o novo padrão da empresa.

Apesar de neste trabalho ser apresentado 5 casos ocorridos, durante o contato com a empresa em estudo foi possível realizar troca de informações e coleta de dados a respeito de diversas situações que acontecem no cotidiano de uma mineradora.

A partir desta coleta de informações, foi possível traçar uma análise comparativa entre os três diferentes tipos de revestimento (aço + borracha, aço + poliuretano, aço + borracha e cerâmica) sendo que foi realizado uma divisão de grupos, conforme a figura 26, para que assim seja possível realizar a coleta de dados dentro das mesmas condições.

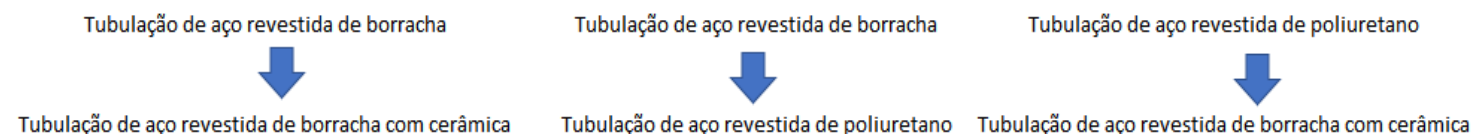


Figura 26 - Separação de grupos para coleta de dados

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

Diante disto, foi coletado 10 casos de cada grupo e assim realizando a média de preço e vida útil de cada tubulação. Através dos valores obtidos, foi possível realizar a tabela 9 contendo uma média geral de durabilidade e de preços de tubulações de aço revestida.

Tabela 15 - Análise comparativa entre os revestimentos

Análise comparativa entre os revestimentos		
Tipos	Vida Útil (meses)	Preços (R\$)
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA	X	Y
AÇO REVESTIDO DE POLIURETANO	2.5 a 3.5 vezes X	1.4 a 1.6 vezes Y
AÇO REVESTIDO DE BORRACHA + CERÂMICA	3 a 4 vezes X	2.5 vezes Y

Fonte: Pesquisa direta, (2023)

A tabela demonstra uma análise comparativa entre os três tipos de tubos de aço revestidos. Diferentes situações ocasionam um diferente resultado, ou seja, para a realização da escolha de um revestimento ideal para a tubulação, deverá ser analisado quesitos como material que passará dentro da tubulação, abrasão, granulometria e etc.

Um dos pontos que reforça o que foi dito acima é o fato que granulometrias mais altas, quando aplicados em um revestimento de poliuretano, podem acabar ocasionando pequenos arranhões na superfície do revestimento e consequentemente criar caminhos preferenciais para trincas e prejudicar o revestimento fazendo a vida útil do tubo diminuir. Fato que não ocorreria em um revestimento de borracha ou de borracha com cerâmica, já que este material apresenta em suas características um grau de resiliência maior.

Outro fato seria que apesar de uma tubulação ter a passagem de um fluxo de material com baixa pressão e características baixas de necessidade de abrasividade e resiliência, caso o fluxo de matéria que passe no interior do tubo seja de consumo humano e exija uma necessidade ser atóxico, ou seja, não nocivo ou não venenoso, surge a necessidade do revestimento de borracha conter uma composição específica para esta demanda ou até mesmo contar com o revestimento de cerâmica, pois a mesma apresenta uma superfície que garante que não irá contaminar o fluxo, diferente do caso do revestimento de poliuretano.

A tabela também demonstra um comparativo entre os preços dos revestimentos, que também é um fator de extrema importância a ser levado em conta na escolha do revestimento, já que, nem sempre o revestimento mais duradouro estará apto a caber no orçamento do projeto, necessitando assim outros tipos de soluções.

5 CONCLUSÃO

O acompanhamento da fabricação da tubulação de aço contando com diferentes revestimentos, junto com os estudos de casos e informações coletadas com os profissionais atuantes na empresa em estudo, possibilitou ter uma ampla visão de como funciona o cotidiano fabril além de demonstrar como as melhorias dentro de projetos em mineradoras podem ocasionar um aumento de vida útil de linhas e automaticamente uma maior produtividade.

Diante de tudo isso, a conclusão que podemos chegar é que com a metodologia kaizen é possível traçar um ciclo de melhorias nas mais diferentes situações do cotidiano. Dentro de mineradoras, essa metodologia foi bastante útil de maneira a conseguir realizar melhorias nas tubulações revestidas, possibilitando obter um aumento de vida útil considerável em todos os casos coletados e relatados.

5.1 Recomendações

Neste trabalho foi demonstrada uma análise de casos em condições operacionais semelhantes de tubulações de aço relacionado a revestimentos de: poliuretano, borracha e borracha com cerâmica, cujo foi possível chegar à conclusão que o revestimento que apresenta melhor durabilidade seria o de borracha com cerâmica. Para estudos futuros é recomendável os seguintes temas:

- Realização estudo de aplicação do kaizen em tubulações de aço com outros tipos de revestimentos.
- Realização de estudo de qual seria o melhor revestimento em tubulações de aço, porém considerando a parte de microestruturas dos materiais utilizados como revestimento.
- Realização de estudo, utilizando o kaizen, referente ao impacto da diferença de espessura de revestimentos de maneira a afetar o diâmetro útil da tubulação e como aplicar a melhoria continua nesse caso.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Gen Ltc, 2009. 288 p.

BENTES, Flávio Maldonado. **Programa de gestão de riscos para tubulações industriais**. 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Mecânicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

TELLES, Pedro C. Silva. **Tubulações Industriais: materiais, projeto, montagem**. 10. ed. Itabirito: Ltc, 2001. 276 p.

CUNHA, Kellen Tebaldi da. **Avaliação da qualidade do revestimento em tubos de aço galvanizado**. 2021. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

IBRAM., Instituto Brasileiro de Mineração -. **Maiores minas brasileiras estão localizadas em Minas Gerais**. 2013. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/maiores-minas-brasileiras-estao-localizadas-em-minas-gerais/#:~:text=Samarco%2C%20Vale%2C%20Minera%C3%A7%C3%A3o%20Caldense%20C,o%20ano%20de%202012%20para>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PYLES, Sérgio Rodrigues. **Revestimento interno de tubulação por um processo de centrifugação utilizando resina éster-vinílica com adição de cargas**. 2012. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2012.

TELES, Vinícius Carvalho. **Desgaste abrasivo de revestimentos CrAlSiN Multicamada/Gradiente**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando A. Freitas. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2010.

Sistema de revestimento em tubulação evita desgaste e garante segurança e confiabilidade na mineração. 2022. Disponível em: <https://revistaminerios.com.br/luvas-protectem-juntas-em-tubulacao-e-evitam-desgaste/>. Acesso em: 15 maio 2023.

AMARANTE, José Luiz. **Histórico da mineração**: curso de introdução à mineração para as embaixadas brasileiras. Ministério de Minas e Energia, 2017. 32 slides, color.

NUNES, Paulo Henrique Faria. **Mineração, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Aspectos Jurídicos e Socioeconômicos** -. Disponível em: <https://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/26164-26166-1-PB.pdf>. Acesso em: 04 maio 2023.

MOURÃO, J. M. Estudo prospectivo do Setor Siderúrgico: Caderno de Informações de Base. Associação de Metalurgia e Materiais, ABM, Brasília: cgge, 2008.

Silva, D. B., Valadares, M. C. **-Tratamento de minérios**. In: Geologia, beneficiamento, caracterização e análise micro-estrutural de minérios de ferro. Vitória: ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1988.

ROHEN, Ney Robson Ferreira. **Desenvolvimento de sistema de reparo para dutos e tubulações industriais utilizando materiais compósitos de matriz polimérica**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2010.

BRESCIANI Filho, Ettore (coord.); ZAVAGLIA, Cecília Amélia Carvalho; BUTTON, Sérgio Tonini; GOMES, Edson; NERY Fernando Antonio da Costa. **Conformação Plástica dos Metais**. Campinas: Editora da Unicamp, 1997 (5a. edição), 383p.

MACHADO, Izabel. **Processos de fundição e sinterização (Metalurgia do Pó)**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/Processos%20de%20Fundi%C3%A7%C3%A3o%20e%20Sinteriza%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

RIBEIRO, Rubens. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo fe-c-cr utilizados na indústria sucroalcooleira**. 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Paulista, Ilha Solteira, 2004.

SOUZA, Débora Rosa da Silva. **Preparação e caracterização de poliuretano à base de Poli (ϵ -caprolactona) reforçado com nanocristais de celulose**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

COZZA, Ronaldo Câmara. **Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro-abrasivo**. 2006. 217 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SUSKI, Cassio Aurelio. **Estudo do efeito de tratamentos e revestimentos superficiais na vida de ferramentas de conformação mecânica à frio**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CARVALHO, Paulo Rogério de. **Estudo do comportamento ao desgaste e corrosão dos aços inoxidáveis aisi 316L e aisi 420 depositados pelo processo de aspersão térmica a arco elétrico**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

BEZERRA, Bruno Felipe Andrade. **Análise da Taxa de Desgaste de um revestimento nanométrico WC-CoCr/Ni-Cr**. 2016. 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

Trovati, G., Sanches, E. A., Claro, S. No., Mascarenhas, Y. P., & Chierice, G. O. (2010). Characterization of polyurethane resins by FTIR, TGA, and XRD. *Journal of Applied Polymer Science*, 115(1), 263-268. <http://dx.doi.org/10.1002/app.31096>.

ZUM GAHR, K. H. **Microstructure and wear materials**. Tribology series 10, Elsevier Science Publishers B. V., 1987.

GAMEIRO, Augusto Hauber; PEROZZI, Mariana Bombo. **Perspectivas para o Brasil no Cenário Internacional da Borracha Natural - Parte I**. 2007. Disponível em: http://www.apabor.org.br/zip/perspectivas_parte_1.pdf. Acesso em: 11 jun. 2023.

GRISON, Élyo Caetano; BECKER, Emilton Juarez; SARTORI, André Francisco. **Borracha e seus aditivos: componentes, influências e segredos**. Porto Alegre: Letra e Vida, 2010. 206 p.

MACEDO, N. D. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa**. São Paulo, SP: Edições Loyola, 1994.

CRIPA, Bruno Henrique da Silva; LIMA, Gustavo Lazari de; FREITAS, Rafael Francisco de; CAICHIOLO, Tiago Antônio; MASSARO, Tania Cristina. **Vulcanização da borracha natural com enxofre**. Disponível em: https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/018_borracha_natural.pdf. Acesso em: 07 jul. 2023.

MOTTA, José Francisco Marciano. **As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos**. 2001. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4643/pdf/ci-6-2-5876570b7f8c9d6e028b4643.pdf>. Acesso em: 11 maio 2023.

STAINER, Daniel; FRECCIA, Clézio; FURLAN, João Batista; ZANETTE, Wagner; JôMIOR, Osvaldo V.; COSTA, Fabio; MAZZUCO, Marcelo; MARTINS, Geraldo Mayer. **O aperfeiçoamento da moagem da monoporosa. Alta alumina x sílex**. 1996. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587656f77f8c9d6e028b45cb/pdf/ci-1-1-587656f77f8c9d6e028b45cb.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. [S.l: s.n.], 2002. v. 38.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: [s.n.], 2009.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. [S.l: s.n.], 2003.

TOZONI-REIS, Marília Freiras de Campos. **Metodologia da Pesquisa**. 2 ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009. 136 p.

ANJOS, Gustavo Vicente Máximo. **Proteção de dutos e tubulações industriais contra meios corrosivos através da utilização de revestimentos Al/Polímeros**. Uberlândia: [s.n.], 2003.

BACKES, Denise. **Análise e perspectivas de mercado do butadieno**. 2011. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ANDRADE, Wellington Fernando de. **Beneficiamento de minério de ferro: a importância da caracterização tecnológica na definição de rota de processo**. 2018. 45 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Conselheiro Lafaiete, 2018.

GONZAGA, Antônio. **A História da mineração**. Minas Jr Consultoria Mineral. Disponível em: <https://www.minasjr.com.br/historia-da-mineracao/#:~:text=Desde%20os%20tempos%20da%20pr%C3%A9,minerais%2C%20como%20hematita%20e%20cobre..> Acesso em: 07 jul. 2023.

ALAMINO, Renata de Carvalho Jimenez; VERDE, Rodrigo Braga da Rocha Villa; FERNANDES, Francisco Rego Chaves. **O peso da mineração na Região Sudeste**. 2010. Rio de Janeiro. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1849/1/CCL0014-00-14%20Alamino_Villa%20Verde_Fernandes%20%282014%29.pdf. Acesso em: 07 jul.

Sharma, A. Moody, P. E. (2003). *A Máquina Perfeita; Como vencer na nova economia produzindo com menos recursos*. Trad. Maria Lúcia G. Leite Rosa. 1.ed. São Paulo: Prentice Hall.

PINTO, Emília da Conceição Vieira. **Kaizen como filosofia de Melhoria Contínua na Direção de Serviços Administrativos da SONAE**. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Auditoria, Instituto de Contabilidade e Administração do Porto, Port, 2015.

ORTIZ, Chris A.. **Kaizen e implementação de eventos kaizen**. São Paulo: Bookman, 2010.

