

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Ian Gonçalves Santos
Micael Stephan Nunes Silva

**DIMENSIONAMENTO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS E
MODELAGEM 3D DE UM *CROSS BELT***

Arcos
2025

IAN GONÇALVES SANTOS
MICAEL STEPHAN NUNES SILVA

**DIMENSIONAMENTO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS E
MODELAGEM 3D DE UM *CROSS BELT***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Arcos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Teodoro Assunção

Arcos
2025

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Arcos

S237d Santos, Ian Gonçalves.

Dimensionamento dos parâmetros operacionais e modelagem 3D de um *Cross Belt*. / Ian Gonçalves Santos, Micael Stephan Nunes Silva. - Arcos, 2025.
32 f. : il. color.

Orientador: Prof. Marcelo Teodoro Assunção.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Arcos*.

1. Máquinas de mineração. I. Silva, Micael Stephan Nunes. II. Assunção, Marcelo Teodoro (orientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Arcos*. IV. Título.

CDD 622.5

Catálogo: Meriely Ferreira de Almeida - CRB-6/2760



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Arcos
Diretoria de Ensino
Docentes Área Técnica
Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG
3733515173 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e cinco, às dezenove horas, se reuniu por videoconferência a banca composta pelo **Prof. Dr. Marcelo Teodoro Assunção** (orientador), Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Arcos*; **Prof. Me. Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana**, Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Arcos*; **Prof. João Victor Costa**, Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Arcos*; para avaliar o trabalho intitulado “**DESENVOLVIMENTO E DIMENSIONAMENTO DE UM CROSS BELT**”, apresentado pelos alunos **Ian Gonçalves Santos** e **Micael Stephan Nunes Silva**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer “**APROVADO**”, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. A banca avaliadora emite, em consenso, o conceito final 78,5. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às vinte horas e trinta minutos e eu, Marcelo Teodoro Assunção, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 26 de fevereiro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Teodoro Assunção, Professor**, em 26/02/2025, às 09:37, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **João Victor Costa, Professor Substituto**, em 26/02/2025, às 10:59, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Professor**, em 26/02/2025, às 15:24, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoes> informando o código verificador **2215306** e o código CRC **D25610D2**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a Deus, que nos abençoou com saúde, forças e muita sabedoria nessa jornada. Aos nossos pais e familiares agradecemos, por todo o entendimento, apoio e incentivo ao longo desses anos. Eles, nossos pilares, foram a força e inspiração para essa conquista. Ao nosso orientador, Marcelo Teodoro Assunção, nossa gratidão pela paciência, dedicação orientação, e por valiosas palavras e conhecimento cedidos para realização desta obra. Agradecemos pela ajuda essencial durante o desenvolvimento deste projeto e por cada momento dedicado a nós. Agradecemos, também, nossos professores, pela formação acadêmica e pelo incentivo ao pensamento crítico e científico constante. Cada aula, conselhos e desafios foram imprescindíveis para a nossa formação. Aos amigos e colegas de curso, pela parceria, apoio e descontração do “escritório na mesa ao lado”. A experiência e a união fizeram toda a diferença na nossa jornada. Por fim, agradecemos a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Professores, amigos, familiares e colaboradores precisam ser reconhecidos e agradecidos.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto completo de um sistema *Cross Belt* para aplicação em sistemas de amostragem industrial. O estudo abrange o detalhamento técnico do equipamento, a modelagem 3D e a simulação operacional, com o objetivo de otimizar o processo de coleta de amostras representativas em correias transportadoras. A metodologia incluiu o dimensionamento do equipamento com base em parâmetros operacionais, como a vazão do material transportado, a granulometria média e as especificações normativas de amostragem. A modelagem 3D foi realizada em *software* especializado, permitindo a visualização detalhada do sistema e a análise do movimento rotativo do motor e da lâmina de corte. As simulações incluíram variações de carga e vazão, além de análises de resistência estrutural do equipamento, garantindo a robustez e a durabilidade do *Cross Belt* em condições severas de operação industrial. Os resultados mostraram que o sistema atende aos requisitos de precisão e representatividade das amostras, com desempenho consistente mesmo em situações de sobrecarga. Conclui-se que o projeto desenvolvido demonstra a viabilidade técnica e econômica do sistema *Cross Belt*, contribuindo para a confiabilidade e eficiência dos processos de amostragem industrial.

Palavras-chave: *Cross Belt*, Amostragem industrial, Simulação operacional.

ABSTRACT

The present work presents the development of a complete project of a *Cross Belt* system for application in industrial sampling systems. The study covers the technical detailing of the equipment, 3D modeling and operational simulation, with the aim of optimizing the process of collecting representative samples on conveyor belts. The methodology included the sizing of the equipment based on operational parameters, such as the flow rate of the transported material, the average particle size and the normative sampling specifications. The 3D modeling was carried out in specialized software, allowing the detailed visualization of the system and the analysis of the rotary movement of the motor and the cutting blade. The simulations included load and flow variations, as well as structural strength analysis of the equipment, ensuring the robustness and durability of the *Cross Belt* in severe industrial operating conditions. The results showed that the system meets the requirements for accuracy and representativeness of the samples, with consistent performance even in overload situations. It is concluded that the developed project demonstrates the technical and economic feasibility of the *Cross Belt* system, contributing to the reliability and efficiency of industrial sampling processes.

Keywords: *Cross Belt*, Industrial sampling, Operational simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cross Belt.	2
Figura 2 – Mínerio de ouro.	5
Figura 3 – Mínerio no solo do Brasil.	6
Figura 4 – Mina Subterrânea.	7
Figura 5 – Mina Subterrânea.	8
Figura 6 – Brumadinho.	9
Figura 7 – Correia Transportadora.	11
Figura 8 – Amostragem na mineração.	12
Figura 9 – <i>Cross Belt</i>	13
Figura 10 – <i>Sistema e fluxo dinâmico</i>	14
Figura 11 – Desalinhamento da correia.	15
Figura 12 – <i>Cross Belt</i>	21
Figura 13 – <i>Cross Belt</i>	21
Figura 14 – Vista de corte.	22
Figura 15 – Geração da malha.	23
Figura 16 – Características da malha.	23
Figura 17 – Cargas aplicadas no modelo.	24
Figura 18 – Eixo motriz.	25
Figura 19 – Detalhamento do <i>Cross Belt</i>	26
Figura 20 – Cronograma	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros do Sistema de Amostragem	20
Tabela 2 – Parâmetros do Sistema de Amostragem	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>2</i>
1.2	Justificativa	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Mineração	4
<i>2.1.1</i>	<i>Minérios</i>	<i>4</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Tipos de Mineração</i>	<i>7</i>
2.2	Impacto da mineração no meio ambiente	8
<i>2.2.1</i>	<i>Leis que regulamentam a atividade de mineração no Brasi</i>	<i>8</i>
2.3	Impacto da mineração no meio ambiente	10
2.4	Correia transportadora	10
2.5	Amostragem industrial	11
2.6	Cross Belt	13
<i>2.6.1</i>	<i>Benefícios do Cross Belt</i>	<i>14</i>
<i>2.6.2</i>	<i>Desafios e Melhorias no Design de Cross Belt</i>	<i>14</i>
3	METODOLOGIA	17
3.1	Levantamento e Análise de Dados de Projeto	17
3.2	Análise da Norma ISO 3082	17
3.3	Cálculo da Capacidade de Amostragem	17
3.4	Cálculo do Número de Incrementos Primários	18
3.5	Cálculo do Número Total de Cortes Secundários	18
3.6	Cálculo da Massa de Cada Incremento Secundário	19
3.7	Validação da Representatividade da Amostragem	19
4	RESULTADOS	20
4.1	Método proposto por Melconian	20
5	CONCLUSÃO	27

REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO	30

1 INTRODUÇÃO

A mineração teve desempenho crucial no papel central na história do Brasil, tornando-se uma das atividades econômicas mais antigas e importantes do país. Desde o período colonial, com a descoberta dos portugueses de ouro e pedras preciosas em regiões como Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, dessa maneira a mineração obteve um papel que contribuiu de maneira decisiva para o desenvolvimento econômico e social no Brasil. No decorrer dos séculos XVII e XVIII, a atividade mineradora modelou não apenas geografia econômica, como também a formação cultural e a urbana do território, com o início de cidades que no futuro se tornaram centros históricos e econômicos(FERNANDES; ARAUJO, 2016).

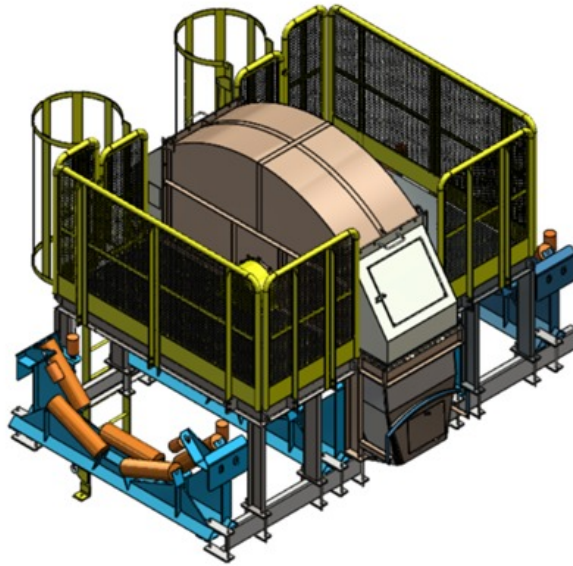
Com o decorrer dos anos, o setor mineral evoluiu, incorporando e introduzindo novas tecnologias e processos no qual obteve uma ampliação da eficiência e segurança das operações. Desde as técnicas mais rudimentares utilizadas em lavras de céu aberto até a implementação de sistemas avançados no momento de extração e beneficiamento, a mineração no Brasil acompanhou os avanços mundiais, tendo assim se consolidado como um dos pilares da economia nacional. Diante desse contexto, o desenvolvimento de sistemas de transporte e controle, é destacado como um marco na modernização do setor(BARRETO *et al.*, 2001).

O sistema de amostragem de minério é fundamental na indústria mineral para garantir a representatividade e a precisão das análises de qualidade e composição do material extraído. Esse processo envolve a utilização de diversos equipamentos especializados, entre os quais se destacam o *Cross Belt*, as correias alimentadoras e os cortadores de fluxo. As correias alimentadoras desempenham um papel crucial no transporte do minério até os pontos de amostragem e análise, assegurando um fluxo constante e controlado de material.

O *Cross Belt* garante uma maior produtividade e uma redução de custos operacionais, ele é instalado diretamente nas correias transportadoras, atuando em um ponto estratégico para que ocorra coleta de materiais enquanto estão em movimento. Sua aplicação reflete a busca contínua por novas tecnologias no setor mineral, unindo praticidade e eficiência as demandas crescentes do mercado global. Por fim, os cortadores de fluxo são dispositivos que interceptam o fluxo de minério em pontos específicos para coletar amostras precisas, evitando a segregação e garantindo a homogeneidade do material amostrado.

A utilização eficaz desses equipamentos é essencial para o controle de qualidade e a tomada de decisões na mineração, uma vez que a análise precisa das amostras influencia diretamente a eficiência dos processos de beneficiamento e a qualidade do produto. Este trabalho visa explorar em detalhe os princípios de funcionamento, as aplicações e as vantagens do equipamento *Cross Belt*, além de discutir as melhores práticas para a implementação e operação desses sistemas nas operações de mineração. A Figura 1 retrata o equipamento *Cross Belt*.

Figura 1 – Cross Belt.



Fonte: (Próprios autores 2024).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver o projeto 3D de um sistema *Cross Belt* e sua aplicação em sistemas de amostragem industrial com correia.

1.1.2 Objetivos específicos

- Descrever e analisar os princípios de funcionamento do *Cross Belt*;
- Modelagem 3D;
- Aplicação do *Cross Belt* na indústria mineral.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento de um sistema *Cross Belt* para amostragem industrial justifica-se pela crescente demanda por precisão, eficiência e conformidade normativa nos processos industriais, especialmente em setores como mineração, siderurgia, agronegócio e indústrias de materiais granulares. A amostragem representa uma etapa crucial para a garantia de qualidade, controle de processos e tomada de decisão estratégica, sendo indispensável a utilização de equipamentos confiáveis e bem projetados.

Embora existam sistemas de amostragem já consolidados no mercado, muitos apresentam limitações em termos de personalização, eficiência energética e adequação às especificidades de diferentes materiais e fluxos operacionais.

Outro fator relevante é a necessidade de adequação às normas internacionais, como a ISO 3082, que exige que o processo de amostragem seja representativo, preciso e livre de viés. Um sistema *Cross Belt* bem projetado contribui diretamente para atender a esses requisitos, reduzindo erros e otimizando a coleta de amostras.

Adicionalmente, a aplicação de tecnologias como modelagem 3D e simulações de carga permite prever e corrigir possíveis falhas antes da construção do equipamento, reduzindo custos e aumentando a eficiência do projeto. Essas simulações também oferecem percepções valiosas sobre o comportamento do equipamento em diferentes cenários, como variações na velocidade da correia, carga de material e granulometria.

Portanto, este projeto é altamente relevante para o avanço técnico da amostragem industrial, promovendo melhorias em confiabilidade, eficiência operacional e conformidade com padrões de qualidade, ao mesmo tempo que contribui para o aprimoramento da formação técnica e científica dos autores envolvidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema de amostragem de minério é fundamental na indústria mineral para garantir a representatividade e a precisão das análises de qualidade e composição do material extraído. Esse processo envolve a utilização de diversos equipamentos especializados, entre os quais se destacam o *Cross Belt*, as correias alimentadoras e os cortadores de fluxo.

O *Cross Belt* é um equipamento primordial no sistema de amostragem de minerais, utilizado para obter e garantir a precisão e representatividade das amostras que são coletadas em processos industriais. O dispositivo em questão é projetado para que possa interceptar o fluxo de minério de forma controlada, dessa maneira será possível coletar as amostras de forma uniforme e sem ocorrer interferência no transporte contínuo de material. No contexto deste trabalho, o foco será direcionado exclusivamente ao cross belt como elemento central do sistema de amostragem.

2.1 Mineração

A extração mineral é o processo através do qual substâncias como ouro, ferro e cobre, concentradas naturalmente no subsolo ao longo de milhões de anos, são retiradas do solo e convertidas em produtos comercializáveis. Envolve pesquisa geológica detalhada para localizar jazidas, perfuração e explosivos para fragmentar a rocha, equipamentos pesados para remover o minério e instalações industriais para selecionar e preparar os minérios para venda e uso (GOV, 2024).

Segundo (GOV, 2024) atualmente, os minérios desempenham um papel fundamental em praticamente todos os setores da economia global. São parte essencial da fabricação de inúmeros bens, como automóveis, smartphones, baterias, edifícios, roupas e alimentos processados. Pode-se afirmar, portanto, que a mineração constitui um pilar indispensável da infraestrutura industrial moderna, extraíndo matérias-primas sem as quais a vida cotidiana tal como a conhecemos seria impossível, além de ser importante para o desenvolvimento socioeconômico e econômico de um país.

2.1.1 Minérios

Minérios são rochas ou minerais dos quais é possível extrair substâncias de valor econômico, que podem ser minerados, processados e oferecidos no mercado para atender as necessidades da indústria ou do consumidor final. Para ser considerado um minério, sua concentração deve ser uma anormalidade raramente encontrada (JAZIDA, 2023).

Podem ser localizados sob a forma de veios, disseminação ou em pequenas quantidades de minerais. São subdivididos em extensos grupos, nomeadamente: metálicos, não-metálicos, agregados, fertilizantes, industriais, rochas ornamentais e recursos energéticos (GOV, 2024). Algumas ocorrências podem ser encontradas como enormes depósitos, enquanto outras são mais

dispersas. Nesta vasta gama de minérios, alguns são muito valiosos e estratégicos, impulsionando economias inteiras.

Conforme citado existem também os minério-minerais, que representam a junção de diferentes depósitos de substâncias metálicas e possuem valor determinado pelo teor metalífero neles contido. Através de processos metalúrgicos, eles são beneficiados, ocorre a concentração e posterior fundição e refino (JAZIDA, 2023) . Para que a extração e o desenvolvimento sejam economicamente viáveis, é essencial haver quantidade, grau e características físicoquímicas adequadas (reservas), assim como infraestrutura e localização que permitam todo o fluxo do processo produtivo. No Brasil a mineração é uma área que tem bastante utilização (JAZIDA, 2023).

No Brasil, a mineração teve um papel fundamental no desenvolvimento econômico do país ao longo dos séculos. Desde os tempos coloniais, quando os bandeirantes buscavam ouro no interior do território, a pesquisa de recursos minerais esteve intrinsecamente ligada à exploração do solo brasileiro. A Figura 2 ilustra o mînerio de ouro.

Figura 2 – Mînerio de ouro.



Fonte: (IBMG, 2019)

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral, nosso país possui um dos mais ricos parques minerais do planeta. São estimados mais de 70 tipos de substâncias que jazem em nosso subsolo, compreendendo metais como ferro e cobre, recursos energéticos como urânio e gás natural, além de insumos industrializados como calcário e quartzo (PERS, 2024).

Conforme dados do referido departamento, atualmente a mineração responde (Produto Interno Bruto) do país são cerca de 20% do valor da exploração no Brasil. Até o ano de 2030 é esperado um investimento de US\$ 270 Bilhões, que será distribuído através do plano de mineração 2030, para que sejam investidos em pesquisa mineral, mineração e transformação mineral (PERS, 2024).

O Brasil demonstrou em 2024, em Toronto, porque é um dos países mais importantes no mercado mineral global, especialmente em relação à transição energética. O Brasil tem sido destacado como uma potência em minerais necessários para a transição energética, incluindo lítio e terras raras. Esses recursos são essenciais para o avanço de tecnologias sustentáveis, como baterias, turbinas eólicas, painéis solares e células de combustível (MINERE, 2024). A Figura 3 ilustra os minérios presentes no solo brasileiro.

Figura 3 – Mínerio no solo do Brasil.



Fonte: (DESCOMPLICA, 2021)

2.1.2 Tipos de Mineração

É possível encontrar vários métodos de lavra que variam segundo os métodos de extração que serão empregados. Em algumas minas são utilizados mais de um método de mineração. Os dois principais métodos que temos no cenário atual em que se desenvolve a atividade de extração de mineração, são: Mineração Subterrânea e Mineração a céu aberto.

- Mineração Subterrânea

Esse processo envolve a pesquisa de minerais de interesse ou disponibilidade através da escavação subterrânea, normalmente por caminhos, poços ou condutos de extração. Grande parte desse tipo de mineração se acha em grandes profundidades e não se conecta diretamente à superfície. O impacto visual é muito baixo, pois os caminhos não podem ser observados pelos olhos. Esse método é utilizado para extrair minerais de alto valor, como, por exemplo, depósitos de ouro em veios (ARMAC, 2023). A Figura 4 ilustra uma mina subterrânea.

Figura 4 – Mina Subterrânea.



Fonte: (MINERE, 2024)

- Mineração a céu aberto

Este processo envolve a remoção do mineral de interesse através de uma grande escavação na superfície, utilizando bancos horizontais. Este método é usado para a extração de minerais metálicos e não metálicos. Tem um grande impacto visual devido à aplicação em depósitos extensos ou de grande volume e baixo teor. Mesmo sendo abrangentes e tendo uma elevada profundidade, devido ao baixo teor, a mineração subterrânea não seria viável, uma vez que quanto maior a profundidade, mais elevado é o custo de retirada do material.

Este método é amplamente utilizado na exploração do cobre porfirítico (ÍGNEA, 2023). A Figura 5 a seguir ilustra uma mina em céu aberto.

Figura 5 – Mina Subterrânea.



Fonte: (Bernardes, 2021)

2.2 Impacto da mineração no meio ambiente

A mineração, apesar de ser uma prática bastante utilizada e benéfica para o país, tem impactos na sociedade que podem ser considerados irreversíveis. Esses impactos podem afetar tanto o trabalhador que atua por um longo período em uma mineradora quanto os biomas, pessoas e fauna que se localizam próximos à extração.

Os problemas ambientais incluem danos aos recursos hídricos, atmosféricos e geomorfológicos da região. Entre os principais problemas, destacam-se a inadequada disposição dos resíduos produzidos durante o processo extrativo, a ampla remoção da vegetação nativa que prejudica a flora local, o afastamento dos animais que habitam a área e a contaminação do lençol freático devido aos produtos químicos utilizados. Ademais, há o fortalecimento dos processos erosivos. A ocorrência de desastres ambientais e o aumento dos impactos da mineração no meio ambiente se devem, em parte, à existência de incontáveis operações ilegais que não seguem as normas e padrões ambientais. Outro fato importante é a falta de fiscalização ideal e

2.2.1 Leis que regulamentam a atividade de mineração no Brasil

A mineração no Brasil atualmente é regulamentada através de um conjunto de leis no qual garantem o uso sustentável dos recursos minerais, a proteção ambiental e a segurança das operações presentes no processo. O Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227/1967) é a base legal do setor, é através dele que é definido os regimes de exploração, como a concessão,

autorização e licenciamento, além de estabelecer os direitos e atributos dos mineradores (GOV, 2024).

Atuando como complemento, a constituição federal de 1988 afirma que os recursos minerais são de propriedades da união, dessa maneira sua exploração só é possível mediante à autorização ou que haja concessão governamental, com garantia de participação do proprietário da terra e que se tenha a preservação ambiental.

A mineração está vinculada à lei Lei nº 6.938/1981, onde é exigido um licenciamento ambiental e estudos que visam o impacto ambiental (EIA/RIMA) como pré-requisitos para o início dos trabalhos. Diante disso, a lei nº 12.334/2010, onde é voltada para a segurança de barragens, é estabelecidas normas para que evite acidentes e desastres ambientais em estruturas de rejeitos, como os casos visto em 2019 na cidade de Brumadinho, em Minas Gerais. A lei nº 9.605/1998, trabalha os danos meio ambiente que foram ocasionados pela atividade de mineração, essa lei prevê penalidades administrativas, civis e criminais em práticas irregulares.

O Brasil também respeita as normas internacionais, um exemplo é o tratado da Organização Internacional do Trabalho (OIT), tratado que assegura os direitos dos trabalhadores envolvidos na mineração. Esse esboço é responsável pelo equilíbrio do aproveitamento dos recursos explorados, a proteção ambiental e a segurança das comunidades que são impactadas pela mineração. A Figura 6 a seguir retrata a barragem da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, que rompeu no dia 25 de janeiro de 2019, ocasionando 272 mortes, danos no meio ambiente, na fauna e flora irreversíveis.

Figura 6 – Brumadinho.



Fonte: (CNN-BRASIL, 2021)

2.3 Impacto da mineração no meio ambiente

A ISO 3082 fornece procedimentos padronizados para a coleta e preparação de amostras de minério de ferro, assegurando que os resultados obtidos reflitam com exatidão as características do lote analisado. Essas diretrizes abrangem desde a coleta até o manuseio e preparo das amostras, minimizando possíveis erros. Além disso, garantem que as amostras finais sejam representativas de forma homogênea. No complexo processo industrial de mineração, a precisão dessas análises é fundamental para a tomada de decisões acertadas em toda a cadeia produtiva (CEARÁ, 2024).

Segundo a CERTIFICAÇÃO ABNT NBR ISO 3082, a adesão rigorosa aos procedimentos determinados pela norma ISO 3082 impacta diretamente a confiabilidade dos processos fabris. A garantia de que as amostras coletadas sejam precisas e representem fielmente a realidade permite que as empresas tomem decisões embasadas acerca da qualidade do minério, aprimorem os fluxos produtivos e mantenham padrões consistentes de qualidade final dos produtos. Além disso, o cumprimento dessas diretrizes certifica a credibilidade da empresa perante o mercado, demonstrando compromisso indubitável com a excelência operacional e a qualidade inquestionável dos serviços e mercadorias fornecidos.

2.4 Correia transportadora

Elas são responsáveis por acomodar o material e, com seu movimento contínuo, levá-lo de um local para outro. A esteira transportadora é essencial para aprimorar o desempenho, acelerar os processos e poupar tempo no deslocamento de diversos tipos de carga, proporcionando também a melhor relação custo-benefício para o segmento onde é aplicada (CARDOSO, 2011).

Este equipamento é utilizado para conduzir ou mover matérias a granel ou em grandes volumes, valendo-se de uma correia contínua (esteira móvel) que desliza sobre rolos e roletes.

Para escolher a faixa de transporte ideal, é necessário considerar alguns aspectos, como as características do material a ser movimentado (densidade, abrasividade, granulometria, ângulo de acomodação etc.), a capacidade de transporte, o tipo de rolo, a largura da faixa e a tensão máxima suportada. As fitas transportadoras têm como objetivo mover o material de um ponto ao outro facilitando o fluxo contínuo do processo, podendo ser aplicadas no transporte horizontal, vertical ou inclinado. Algumas vantagens presentes na utilização das faixas para transporte de materiais são (CARDOSO, 2011):

- Menor custo por volume transportado;
- Segurança de operação;
- Confiabilidade;
- Versatilidade (distâncias longas ou curtas);

- Alto volume de material a ser transportado;
- Capacidade de carga transportada elevada.

A Figura 7 faz a demonstração de uma correia transportadora utilizada em indústrias na atualidade.

Figura 7 – Correia Transportadora.



Fonte: (ABECOM, 2020)

2.5 Amostragem industrial

A amostragem, que consiste na coleta representativa de materiais durante o processo produtivo, é uma etapa fundamental na indústria. Esse procedimento permite avaliar a qualidade dos produtos fabricados, verificar o cumprimento dos padrões estabelecidos, aprimorar os processos de produção e assegurar a segurança das operações. No entanto, uma amostragem de minérios inadequada pode levar a conclusões imprecisas, comprometendo decisões estratégicas e ocasionando prejuízos financeiros significativos (MENDES, 2020). Na prática industrial, os métodos de amostragem são geralmente classificados em três categorias principais:

- 1. Sistemas de Amostragem Manuais: Nesse tipo de sistema, a coleta de amostras é realizada manualmente por um operador. Apesar de serem mais simples e apresentarem menor custo inicial, os sistemas manuais estão sujeitos a variabilidades humanas, o que pode comprometer a precisão dos resultados. Além disso, eles podem não ser adequados para processos que exigem amostragens frequentes ou que ocorrem em condições adversas (MENDES, 2020).
- 2. Sistemas de Amostragem Automáticos: Esses sistemas operam de forma completamente automatizada, sem necessidade de intervenção humana direta. Programados para coletar

amostras em intervalos regulares ou em resposta a parâmetros específicos do processo, oferecem alta consistência e precisão. São particularmente indicados para processos contínuos, onde o monitoramento constante é essencial para o controle de qualidade (MENDES, 2020).

- 3. Sistemas de Amostragem Semi-Automáticos: Essa categoria combina características dos sistemas manuais e automáticos. Embora incluam componentes automatizados, ainda exigem alguma intervenção manual, seja para a coleta, seja para a preparação das amostras. Os sistemas semi-automatizados são indicados em contextos onde a automação completa não é viável ou não se faz necessária (MENDES, 2020).

A escolha do sistema de amostragem mais adequado depende de fatores como a natureza do processo produtivo, o tipo de material a ser analisado, a frequência de coleta necessária e os recursos disponíveis. Independentemente do método adotado, é imprescindível que a amostra seja representativa do processo, preservando suas características até o momento da análise, para garantir a confiabilidade dos resultados (IANALITICA, 2022). A Figura 8 faz a demonstração de um sistema de amostragem.

Figura 8 – Amostragem na mineração.



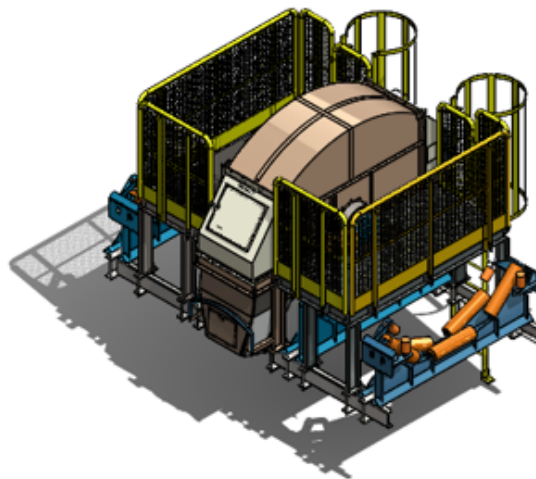
Fonte: (IGEOLÓGICO, 2018)

2.6 *Cross Belt*

O *Cross Belt* é um equipamento essencial que faz parte da coleta de amostras de minério transportado por correias. Ele é amplamente usado na indústria de mineração, onde seu objetivo é garantir a representatividade e a confiabilidade das análises dos minérios retirados (BRASTORNO, 2023). Ele é instalado diretamente sobre a correia transportadora presente no sistema de amostragem e funciona de forma automática, permitindo a coleta de amostras sem a necessidade de parar o processo produtivo.

O funcionamento do *Cross Belt* é simples e eficiente. Ele utiliza um sistema de corte transversal e, muitas vezes, conta com acionamento pneumático ou hidráulico, garantindo a coleta de forma uniforme e com uma porção representativa do material transportado (BRASTORNO, 2023). Após a coleta, a amostra é encaminhada para um sistema secundário, onde podem ser utilizados equipamentos como britadores, divisores rotativos ou transportadores auxiliares. Nesse sistema, o material é reduzido, homogeneizado e armazenado para uma análise posterior (MCLANAHAN, 2024). A Figura 9 faz a demonstração de um *Cross Belt*.

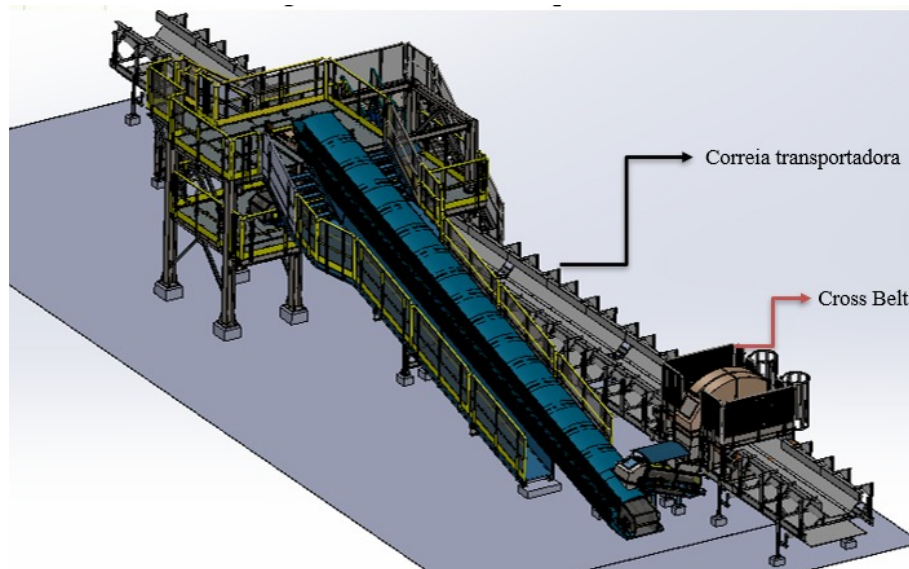
Figura 9 – *Cross Belt*.



Fonte: (Próprios autores, 2024)

Na figura 10, está sendo retratado um sistema completo no qual o cross belt está inserido. O sistema é composto por uma correia transportadora, um cross belt e um dispositivo corta-fluxo.

Figura 10 – Sistema e fluxo dinâmico.



Fonte: (Próprios autores, 2024)

2.6.1 Benefícios do *Cross Belt*

- Alta precisão: A coleta representativa evita vieses na amostragem, refletindo com exatidão a qualidade do material transportado;
- Operação contínua: O equipamento realiza a coleta sem interromper o fluxo na correia, aumentando a eficiência operacional;
- Frequência ajustável: A possibilidade de ajustar a frequência de coleta permite um monitoramento mais detalhado e contínuo do processo;
- Controle de qualidade aprimorado: A análise precisa das amostras contribui para a identificação de desvios e variações no material, possibilitando intervenções rápidas para manter a qualidade do produto final;
- Redução de custos operacionais: A automação elimina a necessidade de métodos manuais de coleta, reduzindo mão de obra e aumentando a segurança no ambiente de trabalho.

Dessa maneira, o *Cross Belt* atende as normativas de amostragem industrial, como no caso ISO 3082 que faz recomendações, no qual fazem a especificação dos procedimentos para a amostragem de minérios de ferro em correias transportadoras.

2.6.2 Desafios e Melhorias no Design de *Cross Belt*

Dentro da plataforma de modelagem em 3D *SolidWorks* existe um ambiente de simulação, que de acordo com SYSTEMES (2023), ao gerar as malhas, um componente estrutural é automaticamente identificado como uma viga, resultando na criação de uma malha com elementos

correspondentes. Após essa etapa, é possível aplicar controles para definir o número de elementos ou seu tamanho.

Segundo os transportadores de correia são fundamentais em diversas indústrias, garantindo o fluxo contínuo de materiais. Entretanto, problemas como desalinhamento, desgaste e manutenção descuidada podem prejudicar sua eficiência. Ira ser explorado esses obstáculos e as soluções para otimizar o desempenho e prolongar a vida útil desses sistemas(ENGINEERING, 2024).

Um dos problemas que podemos destacar é o alinhamento da correia que pode gerar uma série de complicações no sistema. Esse alinhamento ocorre quando a correia se desvia de seu trajeto ideal, como uma estrutura mal ajustada. Estruturas que não estão perfeitamente paralelas e perpendiculares à direção da correia podem ressaltar em desvios laterais, comprometendo o funcionamento adequado do sistema. Componentes desgastados ou mal instalados: Polias e rolos em condições inadequadas prejudicam a orientação correta da correia. Carregamento desigual: A distribuição irregular do material sobre a correia aplica forças desiguais, resultando em desalinhamento (ENGINEERING, 2024). O acúmulo constante de elementos na correia pode causar abrasão e danos, levando a uma deterioração antecipada. Além disso, a falta de manutenção preventiva pode ocasionar quebras inesperadas, aumentando os custos operacionais e o tempo de inatividade.A figura 11 faz a demonstração de uma correia transportadora que sofreu um desalinhamento.

Figura 11 – Desalinhamento da correia.



Fonte: (BELT, 2024)

Para corrigir o desalinhamento, é essencial realizar inspeções regulares para verificar e alinhar periodicamente a estrutura do transportador, garantindo o ajuste adequado. Também é

importante assegurar que roldanas e rolos estejam em boas condições e devidamente instalados, além de implementar práticas que garantam a distribuição equilibrada do material sobre a correia. A redução do desgaste pode ser alcançada com o desenvolvimento de sistemas de limpeza mais complexos, projetados para remover a sujeira de maneira eficiente, prevenindo acúmulos excessivos que desgastam rapidamente a correia. Além disso, é fundamental que as superfícies das correias estejam em perfeito estado, o que requer inspeções detalhadas e reparos minuciosos para evitar desníveis que acelerem o desgaste de forma desproporcional (ENGINEERING, 2024).

No que diz respeito à manutenção (ENGINEERING, 2024), é necessário implementar programas de inspeção preventiva aprimorados, com cronogramas abrangentes de vistoria e manutenção, permitindo diagnosticar e solucionar problemas em estágios iniciais, antes que se tornem graves. A capacitação contínua dos funcionários também é indispensável, garantindo que os colaboradores estejam aptos a detectar sinais precoces de desgaste e desalinhamento, possibilitando intervenções tempestivas e eficazes.

3 METODOLOGIA

Este documento apresenta as principais equações utilizadas no cálculo do cross belt, explicando cada variável, sua origem e a importância da equação na determinação dos parâmetros de operação.

3.1 Levantamento e Análise de Dados de Projeto

Inicialmente, foi realizado um levantamento dos dados de projeto do sistema de amostragem, fornecidos pela VALE. Este levantamento inclui as especificações técnicas do equipamento, como a capacidade nominal da correia de alimentação, a velocidade da correia, a largura e altura da comporta de amostragem, a densidade e a umidade do material transportado, além dos parâmetros de operação do amostrador cross belt. A partir desses dados, será possível compreender o comportamento do sistema e as variáveis que influenciam diretamente na coleta de amostras.

3.2 Análise da Norma ISO 3082

Uma revisão bibliográfica foi realizada para avaliar a aplicação da norma ISO 3082, que regula os processos de amostragem de minério de ferro. A norma será estudada em detalhes para garantir que o amostrador cross belt projetado atenda a todos os requisitos de representatividade e precisão na coleta de amostras. Será verificado como as fórmulas apresentadas no estudo de caso se alinham com as diretrizes da norma.

3.3 Cálculo da Capacidade de Amostragem

A capacidade de amostragem é determinada pela equação 3.1:

$$Q = D \times \pi \times N \times 60 \times A_l \times A_h \times \rho \quad (3.1)$$

Onde:

- D = Diâmetro do tambor (m);
- π = 3,1416;
- N = Rotação do tambor (RPM);
- A_l = Largura da comporta (m);
- A_h = Altura da comporta (m);
- ρ = Densidade do material (t/m³).

Essa equação é baseada no fluxo de material transportado por correias, onde a velocidade linear da correia e a área da comporta determinam o volume de material coletado, convertido em massa por meio da densidade.

3.4 Cálculo do Número de Incrementos Primários

Um incremento primário é uma coleta individual de material (uma porção da amostra) feita em intervalos regulares ou específicos, durante um certo tempo de operação. O número de incrementos primários é informado através da equação 3.2:

$$N_p = \frac{T_f}{I_p} \quad (3.2)$$

Onde:

- T_f = Tempo de fechamento da amostra (min);
- I_p = Intervalo entre incrementos (min).

Essa equação calcula quantas coletas primárias são feitas em um determinado período de tempo, garantindo representatividade da amostra.

3.5 Cálculo do Número Total de Cortes Secundários

O incremento secundário é uma subdivisão do incremento primário, realizada durante o processo de amostragem para garantir que a amostra final represente de forma adequada o material em análise.

Após a coleta do incremento primário, ele é dividido em partes menores, denominadas cortes secundários. Essa etapa é essencial para assegurar que a quantidade de material processada seja compatível com a capacidade dos equipamentos de preparação e análise, além de contribuir para a redução do volume da amostra sem comprometer sua representatividade. O número total de cortes secundários é informado através da equação 3.3:

$$N_s = N_p \times C_s \quad (3.3)$$

Onde:

- N_p = Número de incrementos primários;
- C_s = Número de cortes secundários por incremento primário.

Esse cálculo é fundamental para determinar a quantidade total de amostras obtidas após todas as subdivisões necessárias para análise.

3.6 Cálculo da Massa de Cada Incremento Secundário

Os cortes secundários ocorrem após a coleta dos incrementos primários, integrando o processo de redução da amostra. Quando é coletada uma amostra bruta, composta pelos incrementos primários, geralmente seu volume é excessivo para ser encaminhado diretamente à análise. Por esse motivo, a amostra é subdividida em partes menores.

A massa de cada incremento secundário pode ser determinada pela equação 3.4:

$$M_s = \frac{M_f}{N_s} \quad (3.4)$$

Onde:

- M_f = Massa final da amostra para laboratório (kg);
- N_s = Número total de cortes secundários.

Essa equação distribui a massa total da amostra entre os incrementos secundários, garantindo a conformidade com os requisitos analíticos.

3.7 Validação da Representatividade da Amostragem

Serão realizadas simulações e análises de representatividade das amostras coletadas pelo sistema de amostragem. A norma ISO 3082 será utilizada como referência para avaliar se os incrementos primários e secundários, assim como a massa final da amostra, estão de acordo com as exigências para garantir uma amostragem representativa do rejeito da filtragem. Caso necessário, ajustes serão propostos para melhorar a representatividade e precisão dos resultados obtidos.

Com base nos cálculos e nas análises realizadas, será elaborada uma conclusão sobre a viabilidade do sistema de amostragem cross belt na Mina de Conceição. Também serão feitas recomendações para ajustes no sistema, caso algum aspecto da operação não esteja atendendo completamente aos requisitos da norma ISO 3082 ou às necessidades da VALE.

Sendo assim, as equações apresentadas garantem uma amostragem representativa do material transportado pelo cross belt, permitindo análises confiáveis. Esses cálculos seguem princípios estabelecidos em normas técnicas, como a ISO 3082 para amostragem de minérios.

4 RESULTADOS

A etapa de resultados deste trabalho tem como foco principal a apresentação da modelagem tridimensional (3D) do sistema Cross Belt, desenvolvida a partir das análises técnicas e dos cálculos realizados ao longo do projeto. Esse resultado é fruto da aplicação dos conceitos de dimensionamento e representatividade da amostragem industrial, aliados à utilização de ferramentas computacionais para modelagem e simulação do equipamento.

4.1 Método proposto por Melconian

Os principais dados do sistema de amostragem são apresentados na : Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Parâmetros do Sistema de Amostragem

Parâmetro	Valor
Capacidade nominal da correia de alimentação	31,12 t/h
Velocidade da correia de alimentação	0,3141 m/s
Largura da correia	500 mm
Inclinação dos roletes	20°
Densidade do material	1,39 t/m ³
Umidade do material	15%
Intervalo entre incrementos primários	5 min
Número de incrementos primários por hora	12
Número de cortes do amostrador secundário por operação	4
Velocidade da ferramenta coletora secundária	0,6 m/s
Massa de cada incremento secundário	0,432 kg
Massa final levada ao laboratório	10,37 kg

Fonte: (Próprios autores 2024).

Inicialmente, com base nos parâmetros operacionais levantados junto à empresa VALE e na norma ISO 3082, foi possível determinar as especificações do sistema de amostragem. Esse estudo permitiu definir a capacidade nominal da correia de alimentação, a velocidade da correia, as dimensões da comporta de amostragem, bem como a densidade e a umidade do material transportado. Além disso, os cálculos de capacidade de amostragem, número de incrementos primários, cortes secundários e massa por incremento asseguraram que o equipamento atenderia aos requisitos de precisão e representatividade das amostras, conforme mostra a Tabela 2.

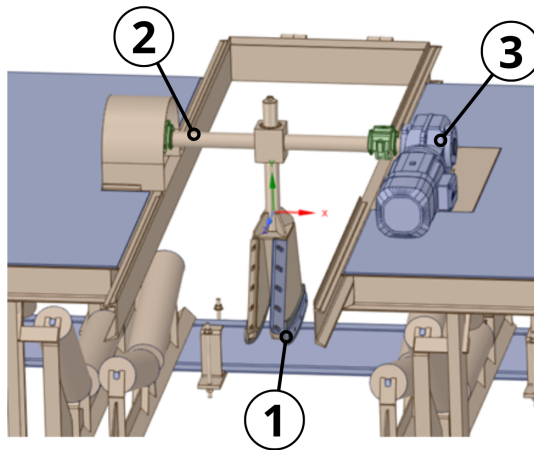
Tabela 2 – Parâmetros do Sistema de Amostragem

Cálculo	Resultado
Capacidade Nominal de Alimentação (Q)	31,12 t/h
Frequência de Incrementos Primários (I_p)	12 incrementos/hora
Massa de Cada Incremento Secundário (M_s)	0,432 kg

Fonte: (Próprios autores 2024).

Com base nesses dados, partiu-se para a etapa de modelagem 3D, utilizando *software SolidWorks*. Conforme a Figura 12 a modelagem tridimensional permitiu visualizar de maneira detalhada cada componente do sistema *Cross Belt*, incluindo a estrutura de suporte, a ferramenta de corte transversal (1), o eixo motriz(2), e o motorreductor(3).

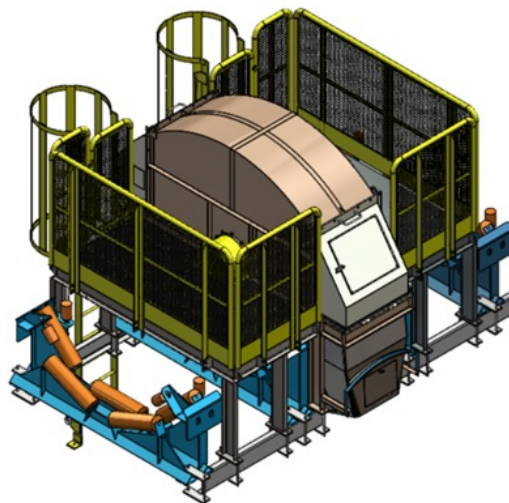
Figura 12 – *Cross Belt*.



Fonte: (Próprios autores, 2024)

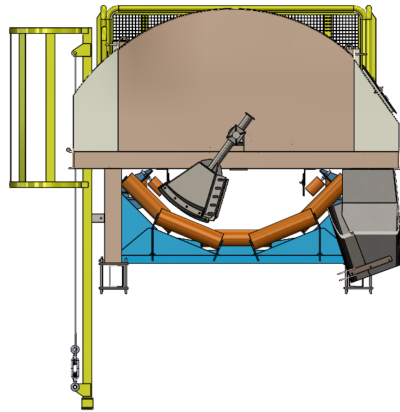
A modelagem final resultou em um protótipo virtual conforme as Figuras 13 e 14 que proporcionou a verificação visual e dimensional do sistema, possibilitando ajustes e correções antes da eventual fabricação do equipamento. Além disso, essa representação tridimensional serviu como suporte para a realização de simulações operacionais, nas quais foi possível analisar o movimento rotativo do tambor, a trajetória da ferramenta de corte e o fluxo do material amostrado.

Figura 13 – *Cross Belt*.



Fonte: (Próprios autores 2024).

Figura 14 – Vista de corte.



Fonte: (Próprios autores 2024).

Como resultado dessas simulações, verificou-se que o sistema projetado atende aos requisitos técnicos e operacionais estipulados pela norma ISO 3082, garantindo uma coleta eficiente e representativa das amostras, mesmo em condições de sobrecarga. No entanto, é importante destacar que a modelagem 3D foi elaborada inicialmente sem o embasamento de cálculos preliminares, o que inverteu a lógica ideal de desenvolvimento do projeto. O correto seria que os cálculos teóricos orientassem a criação do modelo, conferindo maior coerência e embasamento técnico à geometria adotada. Mesmo assim, a modelagem tridimensional consolidou-se como um resultado tangível e essencial do projeto, permitindo a visualização prática do sistema e facilitando ajustes posteriores para adequação às condições operacionais.

Além da modelagem tridimensional, foram realizadas simulações no *software ANSYS* para analisar os componentes expostos a esforços mecânicos durante a operação. Por meio dessas simulações, foi possível identificar regiões de maior concentração de tensões e deformações, permitindo ajustes no projeto para otimizar a distribuição das forças e garantir a integridade estrutural do equipamento. Esse processo reforça a confiabilidade do sistema projetado, assegurando maior segurança e durabilidade ao equipamento em condições reais de funcionamento. Na Figura 18, podemos observar o eixo motriz.

O material utilizado para o eixo de giro é o aço SAE 1045, cujas propriedades mecânicas foram inseridas no modelo de análise estrutural. Entre essas propriedades, destacam-se o módulo de elasticidade de 190 GPa, a tensão de escoamento de 450 MPa e a tensão de ruptura de 585 MPa. Esses parâmetros são fundamentais para que o software de elementos finitos pudesse calcular corretamente as respostas mecânicas da peça sob as condições de carregamento.

A modelagem geométrica do eixo foi realizada em ambiente tridimensional, com base em um modelo CAD previamente desenvolvido, possivelmente em softwares como SolidWorks ou Inventor. Para otimizar o tempo de processamento e garantir a precisão da análise, a geometria

foi simplificada, removendo detalhes que não impactam diretamente na resposta estrutural, como pequenos chanfros, furos secundários e filetes decorativos.

Com o modelo geométrico definido, foi gerada uma malha de elementos finitos (mesh), que representa a discretização do eixo em pequenos volumes interligados. O refinamento da malha foi ajustado para priorizar regiões críticas, como áreas de contato, filetes e regiões sujeitas a altas concentrações de tensão. O documento analisado apresenta métricas de qualidade da malha, como tamanho médio dos elementos, razão Jacobiana e ângulo máximo entre elementos, garantindo que o modelo numérico tivesse boa precisão e estabilidade. Na Figura 15 podemos ver a geração da malha e na Figura 16 podemos ver a característica da malha.

Figura 15 – Geração da malha.



Fonte: (Próprios autores 2024).

Figura 16 – Características da malha.

Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	2,2127e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99998
<input type="checkbox"/> Average	0,84122
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,16241

Mesh Metric	Aspect Ratio
<input type="checkbox"/> Min	1,
<input type="checkbox"/> Max	89,595
<input type="checkbox"/> Average	1,5439
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	2,0652

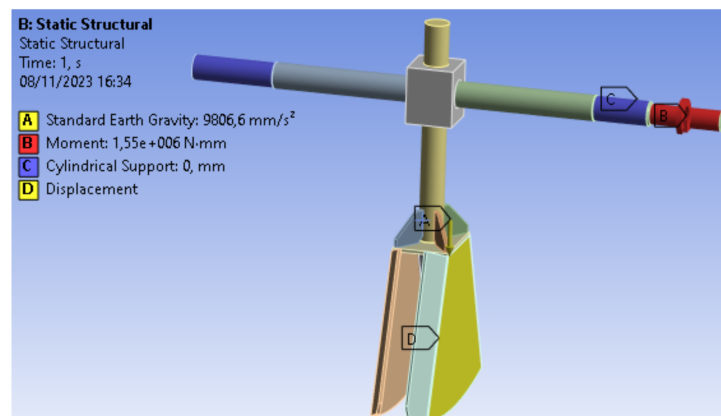
Mesh Metric	Jacobian Ratio (Corner Nod...
<input type="checkbox"/> Min	2,5835e-002
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,82331
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,20598

Mesh Metric	Maximum Corner Angle
<input type="checkbox"/> Min	60,1°
<input type="checkbox"/> Max	176,64°
<input type="checkbox"/> Average	100,68°
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	13,182°

Fonte: (Próprios autores 2024).

As condições de contorno foram então aplicadas para representar o comportamento real do eixo em operação. Foram definidos apoios do tipo "*Cylindrical Support*", que simulam as restrições de movimento conforme o eixo é instalado na estrutura do amostrador. Além disso, foi aplicada a gravidade para considerar o peso próprio do componente, bem como momentos e forças externas, representando as solicitações oriundas do funcionamento do sistema de amostragem. na Figura 17 podemos ver as Cargas aplicadas no modelo.

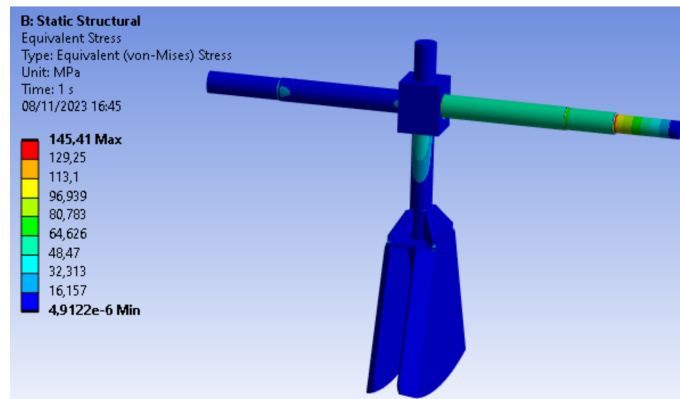
Figura 17 – Cargas aplicadas no modelo.



Fonte: (Próprios autores 2024).

A análise estrutural foi configurada no módulo "Static Structural" do ANSYS, indicado para simulações de carregamentos estáticos e lineares. Os principais resultados avaliados foram as tensões equivalentes de von Mises, os deslocamentos e o fator de segurança global da peça. Por fim, os valores de tensão obtidos foram comparados com os limites de resistência do material, aplicando-se os fatores de segurança estabelecidos pelas normas da ABNT (NBR) e pelos critérios técnicos da Vale. Esse processo de verificação garantiu que o projeto do eixo atende aos requisitos de integridade estrutural exigidos para sua aplicação.

Figura 18 – Eixo motriz.



Fonte: (Próprios autores 2024).

Na Figura 19 é possível observar o desenho técnico e o detalhamento do *Cross Belt*.

5 CONCLUSÃO

O amostrador *Cross Belt* foi modelado para atender de forma eficiente e precisa às exigências técnicas e operacionais da planta de amostragem da Mina de Conceição, operada pela VALE. Sua principal função é garantir a coleta representativa do rejeito da filtragem, essencial para a realização de análises confiáveis e para assegurar que os dados coletados sejam adequados para o processo subsequente de tratamento e controle de qualidade do material.

Um dos aspectos mais inovadores do projeto é o método de acumulação dos incrementos primários, que foi cuidadosamente planejado para preservar a eficiência da amostragem, sem comprometer a integridade ou a estrutura do equipamento. Um chute planejado geometricamente para que assim não acumule resíduos em seu interior, além do acabamento interno para não haver pontos de acúmulo, como cabeças de parafusos, cordões de solda, seja possível obter uma amostra de qualidade, representativa do material transportado pela correia, sem sobrecarregar a operação do amostrador ou afetar a precisão das medições.

Além disso, a análise dos cálculos de desempenho e da capacidade do sistema representados nos resultados, demonstram que o amostrador *Cross Belt* é totalmente viável dentro dos parâmetros estabelecidos pela VALE. Com base nas especificações normativas da ISO 3082 e nas condições operacionais do local, o sistema foi projetado para atender não apenas aos requisitos técnicos rigorosos da planta de amostragem, mas também para maximizar a produtividade e minimizar custos operacionais. Dessa forma, o amostrador *Cross Belt* se apresenta como uma solução robusta e confiável, assegurando que as amostras coletadas sejam representativas e que o processo de amostragem seja realizado com o mais alto grau de precisão e eficiência.

REFERÊNCIAS

- ABECOM. **O que é correia transportadora? Quais os tipos?** 2020. Acessado em 10/12/2024. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/o-que-e-correia-transportadora/>>. Citado na página 11.
- ARMAC. **Lavra subterrânea: método e diferenciais.** 2023. Acessado em 20/04/2024. Disponível em: <<https://armac.com.br/blog/mineracao/lavra-subterranea/>>. Citado na página 7.
- BARRETO, M. L. *et al.* **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil.** 2001. Acessado em 10/04/2024. Disponível em: <<https://livroaberto.ibict.br/handle/1/922>>. Citado na página 1.
- BELT, C. **Desalinhamento da Correia Transportadora.** 2024. Acessado em 17/12/2024. Disponível em: <<https://www.centerbeltservice.com.br/noticias/desalinhamento-da-correia-transportadora/1>>. Citado na página 15.
- BRASTORNO. **Amostrador tipo cross belt.** 2023. Acessado em 25/10/2024. Disponível em: <<https://www.brastorno.com.br/amostrador-tipo-cross-belt>>. Citado na página 13.
- CARDOSO, D. **TRANSPORTADOR DE CORREIA: COMPONENTES E CÁLCULOS BÁSICOS PARA SEU DIMENSIONAMENTO.** 2011. Acessado em 10/12/2024. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c749da77-9c1e-4fa5-9694-538161517fc3/content>>. Citado na página 10.
- CEARÁ, G. do estado do. **CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA MINERAL.** 2024. Acessado em 05/12/2024. Disponível em: <https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/mineracao_caracterizacao_tecnologica_de_minerios.pdf?> Citado na página 10.
- CNN-BRASIL. **Brumadinho: tragédia faz 2 anos sem barragens desativadas e com disputa jurídica.** 2021. Acessado em 25/04/2024. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brumadinho-tragedia-faz-2-anos-sem-barragens-desativadas-e-com-disputa-juridica/>>. Citado na página 9.
- DESCOMPLICA. **O espaço da circulação no Brasil e os grandes projetos agrominerais e industriais.** 2021. Acessado em 20/04/2024. Disponível em: <<https://descomplica.com.br/d/vs/aula/o-espaco-da-circulacao-no-brasil-e-os-grandes-projetos-agrominerais-e-industriais/>>. Citado na página 6.
- ENGINEERING, M. **Correia transportadora: conheça e evite os principais problemas em uma operação.** 2024. Acessado em 17/12/2024. Disponível em: <https://martin-engineering.com.br/problemas-na-correia-transportadora/?utm_source=chatgpt.com>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- FERNANDES, F. R. C.; ARAUJO, E. R. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais.** 2016. Acessado em 10/04/2024. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos_ambientais_cap.2%20p65.pdf>. Citado na página 1.
- GOV. **Exploração Mineral.** 2024. Acessado em 15/04/2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral>>. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 9.
- IANALITICA. **Sistemas de Amostragem.** 2022. Acessado em 13/12/2024. Disponível em: <https://ianalitica.com.br/sistemas-de-amostragem/?utm_source>. Citado na página 12.

IBMG. **A Mineração de Ouro no Brasil**. 2019. Acessado em 15/04/2024. Disponível em: <<https://ibgm.com.br/a-mineracao-de-ouro-no-brasil/>>. Citado na página 5.

IGEOLÓGICO. **Amostragem na mineração: O que é, qual é sua importância e quais são os passos recomendados**. 2018. Acessado em 16/12/2024. Disponível em: <<https://igeologico.com.br/amostragem-na-mineracao-o-que-e-qual-e-sua-importancia-e-quais-sao-os-passos-recomendados/>>. Citado na página 12.

JAZIDA. **Exploração Mineral**. 2023. Acessado em 15/04/2024. Disponível em: <<https://www.institutominere.com.br/blog/brasil-destaca-pdac-2024-potencia-minerais-criticos-transicao-energetica>>. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.

MCLANAHAN. **Sistemas de amostragem de correia cruzada**. 2024. Acessado em 17/12/2024. Disponível em: <<https://www.mclanahan.com/products/cross-belt-sampling-systems>>. Citado na página 13.

MENDES, P. G. **Técnicas de Amostragem e Controle de Qualidade**. 2020. Acessado em 15/12/2024. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20sobre%20T%C3%A9cnicas%20de%20Amostragem%20e%20Controle%20de%20Qualidade.pdf?utm_source>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

MINERE, I. **Brasil se destaca**. 2024. Acessado em 20/04/2024. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

PERS. **Mineração**. 2024. Acessado em 20/04/2024. Disponível em: <<https://persmt.setec.ufmt.br/mineracao/>>. Citado na página 6.

ÍGNEA. **Lavra a céu aberto**. 2023. Acessado em 20/04/2024. Disponível em: <<https://www.igneabr.com.br/noticias/procedimentos-tecnicos/lavra-a-ceu-aberto-tudo-o-que-voce-precisa-saber-a-nrm02/>>. Citado na página 8.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

Este documento tem como objetivo apresentar os cálculos detalhados relacionados ao sistema de amostragem utilizando o amostrador *Cross Belt* na planta de amostragem da Mina de Conceição, operada pela VALE. O amostrador será utilizado para coleta de amostras do rejeito da filtragem, garantindo conformidade com a norma ISO 3082 e assegurando a representatividade das amostras coletadas.

1. Cálculo da Capacidade de Amostragem

1.1 Cálculo da Capacidade Nominal de Alimentação

A capacidade nominal da correia foi calculada com a seguinte fórmula:

$$Q = D \times \pi \times N \times 60 \times A_l \times A_h \times \rho$$

Onde:

- Q = Capacidade de amostragem (t/h)
- D = Diâmetro do tambor (0,4 m)
- $\pi = 3,1416$
- N = Velocidade do motoredutor (4,4 RPM)
- A_l = Abertura da comporta (0,18 m)
- A_h = Altura da comporta (0,11 m)
- ρ = Densidade do material (1,39 t/m³)

Substituindo os valores:

$$Q = 0,4 \times 3,1416 \times 4,4 \times 60 \times 0,18 \times 0,11 \times 1,39 = 31,12 \text{ t/h}$$

1.2 Cálculo da Frequência de Incrementos Primários

A frequência dos incrementos primários foi calculada considerando o intervalo de tempo entre incrementos:

$$I_p = \frac{60}{T_i}$$

Onde:

- I_p = Número de incrementos primários por hora
- T_i = Tempo entre incrementos (5 min = 5/60 h)

Substituindo:

$$I_p = \frac{60}{5} = 12 \text{ incrementos/hora}$$

1.3 Cálculo da Massa de Cada Incremento Secundário

A massa de cada incremento secundário foi determinada considerando:

$$M_s = V_c \times A_c \times \rho \times T_p$$

Onde:

- M_s = Massa de cada incremento secundário (kg)
- V_c = Velocidade da ferramenta coletora secundária (0,6 m/s)
- A_c = Abertura do coletor (0,18m × 0,11m)
- ρ = Densidade do material (1,39 t/m³)
- T_p = Tempo de passagem da ferramenta

Substituindo:

$$M_s = 0,6 \times (0,18 \times 0,11) \times 1,39 \times 1 = 0,432 \text{ kg}$$

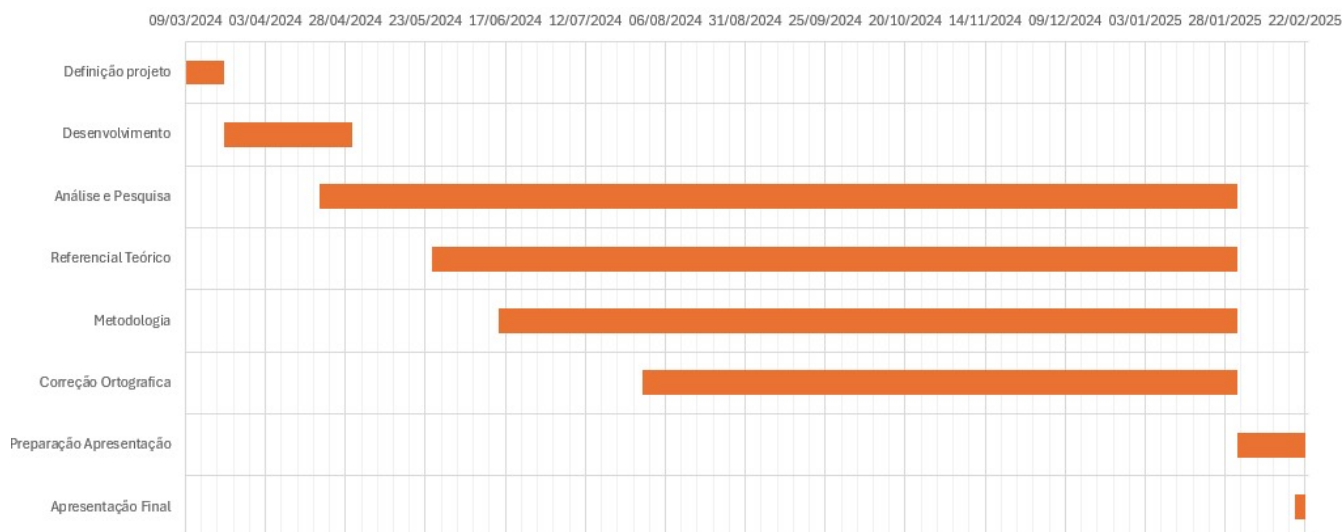
2. Justificativa Técnica

Para garantir a representatividade da amostragem sem comprometer a operação, algumas restrições técnicas foram consideradas:

- A redução do diâmetro do tambor da alimentadora não é permitida pela especificação da VALE.
- A diminuição da velocidade do motoredutor exigiria um aumento de seu tamanho, inviabilizando a instalação na estrutura da alimentadora.
- Reduzir a largura e altura da comporta de saída poderia causar entupimentos.

- A solução adotada foi acumular 2 ou 3 cortes do amostrador primário para garantir massa suficiente para o amostrador secundário, garantindo o cumprimento da norma ISO 3082.
- O tempo de fechamento da amostra e a quantidade de cortes podem ser ajustados no PLC sem impactar nos custos.

Figura 20 – Cronograma



Fonte: Próprios autores, 2025