



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP  
ESCOLA DE MINAS  
Departamento de Engenharia De Minas  
Campus Morro do Cruzeiro  
Ouro Preto – Minas Gerais - Brasil**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA DE  
MINAS**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE DIMENSIONAMENTO DE  
CUSTOS DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA NA SAMARCO  
MINERAÇÃO S.A.**

**Gabriel Patrício de Souza Resende**

**Ouro Preto, Abril de 2021**

**Gabriel Patrício de Souza Resende**

**Desenvolvimento De Sistema De Dimensionamento De Custos De Um  
Transportador De Correia Na Samarco S.A.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia de  
Minas da Universidade Federal de Ouro  
Preto como requisito básico para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia de Minas.

**Orientador: Prof. Felipe Ribeiro Souza**

**Ouro Preto, Abril de 2021**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R433d Resende, Gabriel Patricio de Souza.  
Desenvolvimento de sistema de dimensionamento de custos de um transportador de correia na Samarco Mineração S.A.. [manuscrito] / Gabriel Patricio de Souza Resende. - 2021.  
31 f.: il.: , tab.. + Desenho técnico.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Mineração a céu aberto. 2. Minas e mineração - Carregamento e transporte. 3. Minas e mineração - Custos. 4. Concorrência - Vantagem competitiva. I. Souza, Felipe Ribeiro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.68:005.332.4

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



---

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e três dias do mês de abril de 2021, às 10h00min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Gabriel Patrício de Souza Resende**, matrícula 15.1.1435, intitulado: **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE DIMENSIONAMENTO DE CUSTOS DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIAS NA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.**, perante comissão avaliadora constituída pelo orientador do trabalho, Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza, Eng.<sup>a</sup> de Minas Bárbara Isabela da Silva Campos e Eng.<sup>o</sup> de Minas Airton Antônio Silva. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, o presidente da comissão examinadora concedeu ao discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, o presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas ao candidato sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro a Eng.<sup>a</sup> de Minas Bárbara Isabela da Silva Campos, segundo, o Eng.<sup>o</sup> de Minas Airton Antônio Silva e em último, o Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou ao discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão do discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que o discente foi aprovado por unanimidade, com a nota 9.0 (Nove), sob a condição de que a versão definitiva do trabalho incorpore todas as exigências da comissão, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 15 (quinze) dias. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pela presidente da comissão. O discente, por sua vez, encaminhará uma declaração de concordância com todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Ouro Preto, 23 de abril de 2021.

Presidente: Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza

Membro: Eng.<sup>a</sup> de Minas Bárbara Isabela da Silva Campos

Membro: Eng.<sup>o</sup> de Minas Airton Antônio Silva

Discente: Gabriel Patrício de Souza Resende

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, por ser luz e guia durante todo meu percurso.

Aos meus pais, Sr. Jamiro Patrício de Resende Júnior e Sra. Milce de Souza Resende, e à irmã, Srta. Isadora Senra de Souza Resende, por depositarem em mim todas as forças e energias que contribuíram imensamente em minha formação.

Agradecimento em especial ao meu tio, Sr. Maury de Souza Júnior, pelos inúmeros ensinamentos e oportunidades de aprendizado.

Agradeço à BAUMINAS Mineração, Ferro+ Mineração e Samarco Mineração S.A. por me proporcionar um grande crescimento pessoal e profissional.

Ao Professor do Departamento de Engenharia de Minas – DEMIN, da Escola de Minas, Sr. Prof. Felipe Ribeiro Souza.

Aos demais professores do DEMIN e Escola de Minas, por suas importantes contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

## RESUMO

Têm-se procurado em diversos setores de empreendimento um método de transporte eficaz e econômico, dentre eles está inserido o transportador de correia. É possível listar inúmeras vantagens competitivas da utilização deste equipamento comparada à utilização de caminhões rodoviários ou fora de estrada, tais como os baixos custos operacionais e de manutenção. Esse trabalho visa criar um sistema que, a partir da entrada de certas especificações do terreno e do equipamento, retorne uma estimativa de custos *OPEX*, *CAPEX* e custos por tonelada de minério transportada. Para isso, foi utilizado um transportador de correia da Samarco Mineração S.A. já em operação e alguns dados e estimativas construídos junto às equipes de Suprimento, Engenharia e Planejamento Mecânico. Calculou-se, portanto, um custo total anual de R\$547.118,86 e um custo por tonelada de minério transportada de R\$0,05/t, evidenciando a vantagem competitiva deste método de transporte.

**Palavras-chaves:** Dimensionamento de custos, Transportador de Correia, Vantagem Competitiva, Transporte de Minério.

## **ABSTRACT**

An effective and economical method of conveying has been sought in various sectors of enterprise, among them the belt conveyor. It is possible to list numerous competitive advantages of using this equipment compared to using on-road or off-road trucks, such as low operating and maintenance costs. This work aims to create a system that, from the input of certain terrain and equipment specifications, returns an estimate of OPEX costs, CAPEX costs, and costs per ton of ore transported. For this, we used a Samarco Mineração S.A. belt conveyor already in operation and some data and estimates built together with the Procurement, Engineering and Mechanical Planning teams. Therefore, a total annual cost of R\$547,118.86 and a cost per ton of ore transported of R\$0.05/t was calculated, highlighting the competitive advantage of this transportation method.

**Keywords:** Cost Sizing, Belt Conveyor, Competitive Advantage, Ore Transport.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da metodologia adotada no estudo (Fonte: próprio autor) ....	9
Figura 2 – Seção transversal da correia carregada (CEMA, 2005).....	11
Figura 3 – Valores tabelados para $A_i$ conforme classificação dos roletes.....	18
Figura 4 – Fator $K_t$ em função da temperatura em °F (CEMA, 2005).....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades máximas recomendadas (ABNT NBR 8011, 2014).....	14
Tabela 2 – Peso médio do tapete de correia (CEMA, 2005). .....	15
Tabela 3 – Fator $K_1$ (CEMA, 2005).....	16
Tabela 4 – Capacidades de carga para os roletes (CEMA, 2005). .....	17
Tabela 5: Determinação do fator de resistência $K_y$ (ABNT NBR 8205, 2014) .....	20
Tabela 6 – Tensão necessária para rotacionar os tambores (ABNT NBR 8205, 2014) .....	21
Tabela 7 – Fator $C_s$ (CEMA, 2005).....	23
Tabela 8 – Custos OPEX (CLARK, 1973). .....	25
Tabela 9 – Estimativa de Custos CAPEX (Fonte: próprio autor).....	27

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
2	Objetivo .....	2
2.1	Objetivo Geral	2
2.2	Objetivo Específico	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1	Descrição do Processo de Lavra em Minas a Céu Aberto	3
3.2	Etapa de Transporte do Material	3
3.2.1	Transporte por caminhões	4
3.2.2	Transporte por transportadores de correia	4
3.3	Comparação entre os Custos com o Transporte por Caminhões e o por Transportadores de Correia	5
3.4	Estrutura de um Transportador de Correia	6
3.4.1	Correia transportadora	6
3.4.2	Roletes	6
3.4.3	Tambor	7
3.4.4	Motor	7
3.4.5	Esticador	7
3.4.6	Acessórios	8
3.4.7	Chute	8
4	Metodologia.....	9
5	Resultados .....	10
5.1	Seleção da Velocidade	10
5.1.1	Determinação da área do trapézio	10
5.1.2	Determinação da área de acomodação ( <i>As</i> )	12
5.1.3	Determinação da área total ( <i>At</i> )	12
5.1.4	Determinação da velocidade mínima	13
5.1.5	Determinação da velocidade máxima	13

5.1.6	Seleção da velocidade	14
5.2	Verificação da carga imposta nos roletes	14
5.2.1	Peso do tapete da correia ( $Wb$ )	15
5.2.2	Peso do material ( $Wm$ )	15
5.2.3	Cálculo da carga aplicada nos roletes	16
5.2.4	Verificação da tensão aplicada	17
5.3	Cálculo da Tensão Efetiva	17
5.3.1	Cálculo de $Tx$	18
5.3.2	Cálculo de $Tyb$	19
5.3.3	Cálculo de $Tym$	21
5.3.4	Cálculo de $Tm$	21
5.3.5	Cálculo de $Tp$	21
5.3.6	Cálculo de $Tam$	22
5.3.7	Cálculo de $Tac$	22
5.3.8	Cálculo de $Te$	24
5.4	Cálculo da Potência Requerida	24
5.5	Custos com Consumo de Energia Elétrica	24
5.6	Custos OPEX	25
5.7	Custos CAPEX	26
5.8	Custos Totais	27
5.9	Custo por tonelada de minério transportada	27
6	Conclusão .....	28
	Referências .....	29
	Apêndice A – Desenho Técnico do G00-11CV24 .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

O setor minerário, competitivo e com forte desenvolvimento tecnológico, requer eficiência e qualidade em todo o processo produtivo. Sendo assim, existem diversos métodos de transporte, sempre levando em consideração a granulometria, heterogeneidade e umidade do material, as características do desenho da mina e a produtividade desejada (PINTO e DUTRA, 2008). Dentre os métodos, está inserido o transporte por transportadores de correia, um sistema de transporte contínuo, de elevada produção e baixos custos operacionais.

A procura pelo aumento da produtividade e a redução de custos faz com que se desenvolvam instrumentos e métodos que auxiliam na tomada de decisões (BORGES, 2013). A seleção e utilização de equipamentos de transporte adequados na operação podem impactar drasticamente nessa procura.

O presente trabalho utilizará dados de campo e especificações técnicas de um transportador de correia fixo em operação mina de Alegria Norte na Samarco Mineração S.A. cuja nomenclatura é G00-11CV24. Assim sendo, esse trabalho pretende ratificar a metodologia de estimativa de custos com o transporte de minério, determinando os custos operacionais.

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, estando incluso esta introdução, na qual é apresentada uma breve explicação dos modelos de transporte de minério, em seguida, evidencia-se os propósitos do trabalho, a revisão bibliográfica dos assuntos abordados, a metodologia aplicada, os resultados obtidos e, por fim, as conclusões decorrentes dos resultados obtidos.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a implementação da metodologia para o sistema de dimensionamento de custos de um transportador de correia. O dimensionamento utilizado está baseado no conceito de tempos e movimentos em que será associado aos dados técnicos do equipamento a ser montado na base de cálculos, para que ele retorne os custos totais e por tonelada de minério transportada.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Validação da metodologia de estimativa de custos com o transporte de minério, de forma a auxiliar na escolha da implementação do método mais adequado.
- Avaliação da capacidade de transporte e potências requeridas.
- Determinação dos custos operacionais.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Descrição do Processo de Lavra em Minas a Céu Aberto**

A lavra de minas a céu aberto, para ser viável econômica e tecnologicamente, deve possuir um corpo mineral próximo à superfície ou em profundidade moderada e, quando comparada à lavra subterrânea, possui inúmeras vantagens como a alta produtividade e o baixo custo operacional (CURI, 2014).

Segundo PINTO e DUTRA (2008), o método de lavra em minas a céu aberto representa a maior parte da produção mineral no mundo. Tais empreendimentos têm sido constantemente adaptados em prol da geração do mínimo impacto possível, buscando a reabilitação da área desde o início da operação até a adequação da área lavrada ao seu novo uso com o fechamento da mina (PINTO e DUTRA, 2008).

A seleção de um método de lavra para uma determinada jazida visa a extração completa do corpo mineral, a máxima segurança operacional, mínima poluição ambiental e o maior lucro (CURI, 2017). Existem minas a céu aberto de diversas formas, dimensões, orientações e profundidades, mas, assim como em qualquer empreendimento minerário, a lavra consiste no conjunto de operações unitárias de desmonte, carregamento e transporte. Estas etapas variam conforme a mina e o corpo a ser minerado.

#### **3.2 Etapa de Transporte do Material**

A seleção do sistema de transporte a ser usado está relacionada e pode ser um fator determinante para criar uma vantagem competitiva de serviço (BALLOU, 2001). Além disso, trata-se a escolha baseada em decisão técnica e econômica por envolver características operacionais e também capacidades, tempos e custos (ELETROBRÁS *et al.* 2009).

Na mina à céu aberto, os materiais já desmontados podem ser transportados de diversas formas, sendo que as mais usuais são a utilização de caminhões e o uso de transportadores de correia (BORGES, 2013).

### **3.2.1 Transporte por caminhões**

Esta etapa consiste inicialmente no carregamento do caminhão com o material “*in situ*” por equipamentos de carga e transporte até diferentes pontes de descarga. Com a intenção de alcançar maiores produtividades, com ciclos de carregamentos menores, os caminhões e os equipamentos de cargas formam pares, tendo múltiplos de capacidade e otimizando os ciclos. Atualmente, encontra-se no mercado diversos modelos de caminhões com os mais distintos tamanhos e capacidades (BORGES, 2013). Além disso, segundo Lopes (2010), é a modalidade de transporte mais utilizada em todo o mundo.

A escolha da frota está diretamente relacionada com a capacidade de produção, as geometrias da cava e a geologia da jazida (BORGES, 2013). Assim, com o avanço da lavra, têm-se distancias cada vez maiores para os caminhões percorrerem, sendo às vezes necessário o aumento da frota ou até mesmo a alteração dos modelos por outros com capacidades maiores.

Outra atenção é o impacto ambiental gerado por esta modalidade. Sendo assim, deve-se monitorar e atentar sempre ao consumo de diesel e geração de material particulado em suspensão, sendo necessárias operações auxiliares para mitigação dessas interferências.

O lado positivo deste método é a flexibilidade operacional, com a lavra podendo ocorrer simultaneamente em diversas frentes e níveis, facilitando a “*blendagem*” do material e garantindo a qualidade do produto (LOPES, 2010). Porém, por outro lado, este método possui baixa eficiência energética, custos elevados de operação, manutenção, abertura e conservação das vias de acesso (LOPES, 2010).

Segundo Chaves (2015), os custos totais de transporte por caminhão são referentes ao custo de capital e ao custo operacional, representando 72% e 28% respectivamente.

### **3.2.2 Transporte por transportadores de correia**

Segundo a Eletrobrás et al. (2009), os transportadores de correia apresentam a mais variada gama de capacidades, versatilidade, confiabilidade, economia e segurança na operação. Os transportadores de correia, sejam eles fixos ou móveis,

apresentam baixo custo de operação e transportam os mais diversos materiais, desde finos até matérias com alta granulometria (SACRAMENTO, 2021).

Outra vantagem é que este equipamento pode ser utilizado nos mais variados tipos de terrenos e comprimentos, podendo ser aberto, fechado ou até enclausurado, evitando a poluição do ar (SACRAMENTO, 2021).

Os transportadores de correia são compostos de um sistema motorizado que movimenta um tapete que desloca por roletes e rolos (LOPES, 2010). Os equipamentos de carga alimentam um carregador que descarrega o material no transportador de correia. Tal material desloca-se apoiado ao tapete até o próximo destino.

Este sistema de transporte, segundo LOPES (2010), é vantajoso por possuir demanda energética praticamente uniforme, reduzir a mão de obra operacional já que um ou dois operadores já são suficientes para monitorar longos trechos de correia em operação (CEMA, 1997 *apud* LOPES, 2010). Além disso, outras vantagens são a redução dos riscos de acidente devido ao menor número de equipamentos envolvidos na operação, a não emissão de CO<sub>2</sub> e o menor custo operacional comparado à lavra por caminhões. (LOPES, 2010). Por outro lado, Lopes (2010) afirma que a flexibilidade fica comprometida, uma vez que as frentes de lavra têm que estar próximas ao equipamento para viabilizar sua utilização, a granulometria fica limitada pelo sistema de correias e é necessário um maior custo de investimento.

Segundo Chaves (2015), os custos totais com o transporte por transportadores de correia são originados pelo custo de capital, que representa 94% do custo total, e pelos custos operacionais, que representam 6% do custo total.

### **3.3 Comparação entre os Custos com o Transporte por Caminhões e o por Transportadores de Correia**

Qualquer modalidade de transporte possui vantagens e desvantagens, portanto é necessário avaliar a geologia da jazida, a geometria da cava e as capacidades produtivas para determinar qual o método é mais adequado.

A partir do estudo de Chaves (2015), determina-se que, para um mesmo projeto, o transporte através de TCLD (transportadores de correia de longa distância) possui um custo total 1,3 vezes mais caro comparado ao por caminhões. Isso se dá

especialmente por conta dos custos de capital, que representam uma maior fatia do investimento sendo 1,7 vezes mais caro para os transportadores de correia (CHAVES, 2015).

Porém, quando se avalia os custos operacionais, percebe-se que o transporte por caminhões tem o valor 3,6 vezes mais elevado comparado com o transporte através de transportadores de correia.

### **3.4 Estrutura de um Transportador de Correia**

Um transportador de correia é composto por diversos componentes, dentre eles equipamentos mecânicos, elétricos, hidráulicos e acessórios. Os principais componentes de um transportador de correia serão explicados a seguir.

#### **3.4.1 Correia transportadora**

É a correia que gera a superfície de sustentação a qual o material será transportado. Isto é, o material se acomoda sobre a correia e, com o seu deslocamento, o transporte do material ocorre (ABNT NBR 6177, 2016).

Em geral, as correias são constituídas da cobertura superior, da carcaça e da cobertura inferior. As coberturas são geralmente construídas de borracha e tem a função de revestir a carcaça aos efeitos de abrasão, impacto, corte, temperatura ou ataque químico decorrente do material transportado ou outras condições adversas (ABNT NBR 6177, 2016). E a carcaça é a parte destinada a suportar as cargas de tração, impacto e resistência ao rasgamento, gerando o acamamento, alinhamento e alongamento (ABNT NBR 6177, 2016).

#### **3.4.2 Roletes**

É um conjunto de um ou mais rolos devidamente apoiado em um suporte cuja finalidade é suportar, guiar e conformar a correia transportadora. Os rolos podem girar em torno do seu próprio eixo, fazendo com que a correia se desloque sobre eles. Vale ressaltar que qualquer imperfeição quanto ao alinhamento, lubrificação e manutenção

dos rolos resultará em um aumento da tensão na correia e na potência requerida do motor.

Existem diversos tipos de roletes, dentre eles: o rolete de carga o qual se apoia o lado de carregamento da correia transportadora, o rolete de impacto cuja função é absorver o choque resultante do impacto durante o carregamento, o rolete de retorno o qual se apoia o lado de retorno da correia transportadora, o rolete autoalinhante cuja finalidade é controlar o deslocamento lateral da correia e o rolete de transição cujo objetivo é acompanhar a mudança da concavidade da correia.

### **3.4.3 Tambor**

Tambor é um elemento de forma cilíndrica constituído de corpo e eixo com a finalidade de direcionar, tracionar e/ou tensionar a correia transportadora (ABNT NBR 6177, 2016). Ele dá o movimento (tambor motriz) e apoio (tambores movidos) à correia. Ele pode ser classificado em:

- Tambor motriz: responsável por receber e transmitir o torque do acionamento.
- Tambor movido: não possuem torque próprio e podem ter diversas funções como a de esticamento, de desvio ou de encosto.

### **3.4.4 Motor**

É a máquina que converte energia, geralmente elétrica, em energia mecânica, tendo como o objetivo fornecer a potência necessária para o movimento da correia (ABNT NBR 6177, 2016). Além disso, é ele o responsável pelo torque que gira o tambor motriz e movimenta a correia.

### **3.4.5 Esticador**

Grupo de elementos mecânicos, eletromecânicos ou hidráulicos destinados a promover o ajuste do comprimento da correia, mantendo assim a tensão adequada (ABNT NBR 6177, 2016).

#### **3.4.6 Acessórios**

São dispositivos que garantem o bom funcionamento do equipamento e a segurança da operação. Dentre eles estão o raspador e o limpador, mecanismo que retira o material aderido à superfície da correia e mecanismo de limpeza da superfície da correia, respectivamente.

#### **3.4.7 Chute**

Elemento responsável por receber e direcionar o material transportado (ABNT NBR 6177, 2016). Geralmente é uma estrutura de aço reforçada com chapas de desgaste para suportar a abrasão e corrosão causada pelo atrito contínuo do material.

## 4 METODOLOGIA

Realizar uma estimativa das despesas de capital, de operação e manutenção de um transportador de correia localizado na mina de Alegria Norte na Samarco Mineração, denominado G00-11CV24. Esta estimativa tem como objetivo desenvolver um sistema de dimensionamento capaz de prever os custos totais relacionados à instalação, montagem, operação e manutenção de um transportador de correia.

Assim, com base nos cálculos da potência requerida pelo equipamento, através do método CEMA (*Conveyor Equipment Manufactures Association*), pôde-se estimar a potência requerida pelo equipamento e, com isso, os custos com consumo de energia elétrica. Pelo consumo, estimou-se os custos *OPEX*.

Mediante consulta ao sistema interno da Samarco, SAP, para a obtenção do preço por metro do tapete de correia, pôde-se prever os custos com aquisições e instalações, encontrando o custo *CAPEX*. Encontrou-se, portanto, o custo total.

Após a medição do custo total, calculou-se também o custo por tonelada de minério transportada.

A Figura 1 apresenta o esquema da metodologia adotada no estudo.

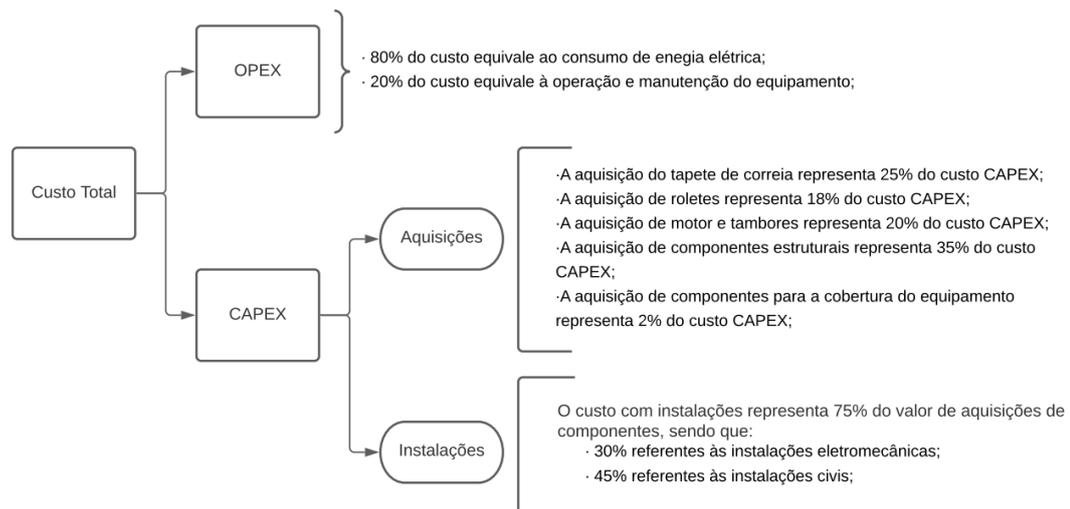


Figura 1 – Esquema da metodologia adotada no estudo (Fonte: próprio autor)

## 5 RESULTADOS

A partir do desenho técnico do transportador de correia G00-11CV24 presente no Anexo I deste trabalho, foram extraídos os seguintes dados:

- Comprimento do transportador: 253,5m = 831,48ft;
- Comprimento do tapete: 513m = 1682,6ft;
- Altura de elevação: 41,5m = 136,12ft;
- Largura do tapete: 1066,88mm = 42pol
- Capacidade nominal: 1850 t/h = 1132 lb/h
- Peso específico do minério de ferro: 2,2 t/m<sup>3</sup> = 137,50 lb/ft<sup>3</sup>
- Granulometria máxima: 150mm
- Ângulo de acomodação: 20°
- Inclinação dos roletes de carga: 35°
- Inclinação dos roletes de retorno: 10°
- Regime de trabalho: 24h/dia

### 5.1 Seleção da Velocidade

É necessário ter ciência que existe uma velocidade mínima com a qual o enchimento não ultrapasse certo limite, evitando assim a ocorrência de vazamento de material por transbordo. É necessário também determinar a velocidade máxima é recomendada a partir do tipo de material a ser transportado e a largura da correia.

#### 5.1.1 Determinação da área do trapézio

A Figura 2 apresenta a seção transversal da correia carregada.

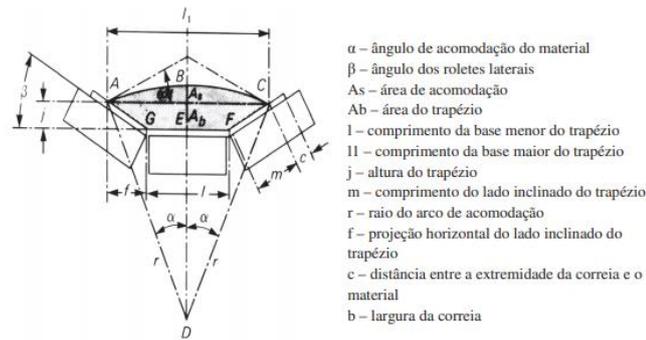


Figura 2 – Seção transversal da correia carregada (CEMA, 2005).

A fim de obter a área do trapézio ( $Ab$ ), temos as seguintes Equações:

$$Ab = \left(\frac{l+l_1}{2}\right) \times j \quad (1)$$

$$c = (0,055 \times b) + 0,9 \quad (2)$$

$$l = (0,371 \times b) + 0,25 \quad (3)$$

$$b = l + (2 \times m) + (2 \times c) \quad (4)$$

$$l_1 = l + (2 \times f) \quad (5)$$

$$f = (m \times \cos \beta) \quad (6)$$

$$j = (m \times \sin \beta) \quad (7)$$

Substituindo a largura do tapete ( $b$ ) de 42" nas Equações 2 e 3, é possível obter os valores de  $c$  e  $l$ .

$$c = (0,055 \times b) + 0,9 = (0,055 \times 42) + 0,9 = 3,21 \text{ pol}$$

$$l = (0,371 \times b) + 0,25 = (0,371 \times 42) + 0,25 = 15,83 \text{ pol}$$

Já, substituindo  $b$ ,  $c$  e  $l$  na Equação 4, obtém-se o valor de  $m$ .

$$42 = 15,83 + (2 \times m) + (2 \times 3,21)$$

$$m = 9,87 \text{ pol}$$

Substituindo  $\beta$  pelo ângulo de inclinação dos roletes de carga  $35^\circ$  e  $m$  nas Equações 6 e 7, encontra-se  $f$  e  $j$ .

$$f = (m \times \cos \beta) = (9,87 \times \cos 35^\circ) = 8,09 \text{ pol}$$

$$j = (m \times \sin \beta) = (9,87 \times \sin 35^\circ) = 5,66 \text{ pol}$$

Agora, substituindo  $l$  e  $f$  na Equação 5, obtém-se  $l1$ .

$$l1 = l + (2 \times f) = 15,83 + (2 \times 8,09) = 32,01 \text{ pol}$$

Assim, pode-se calcular a área do trapézio, dada pela Equação 1.

$$Ab = \left( \frac{l + l1}{2} \right) \times j = \left( \frac{15,83 + 32,01}{2} \right) \times 5,66 = 135,46 \text{ pol}^2$$

### 5.1.2 Determinação da área de acomodação ( $A_s$ )

Sabe-se que a área de acomodação é dada pela subtração do valor da área do triângulo na área do setor circular. Com isso, temos:

$$A_s = \frac{(\pi \times r^2 \times 2 \times \alpha)}{360} - \frac{r^2 \times \sin 2\alpha}{2} \quad (8)$$

Sendo que,

$$r = \frac{l1}{2 \times \sin \alpha} = \frac{32,01}{2 \times \sin 20} = 46,79 \text{ pol}$$

Substituindo o valor encontrado de  $r$  na Equação 8, encontra-se a área de acomodação ( $A_s$ ).

$$A_s = \frac{(\pi \times 46,79^2 \times 2 \times 20)}{360} - \frac{46,79^2 \times \sin 2 \times 20}{2} = 60,60 \text{ pol}^2$$

### 5.1.3 Determinação da área total ( $A_t$ )

A área total é calculada pela soma da área do trapézio com a área de acomodação.

$$At = Ab + As = 135,46 + 60,60 = 196,06 \text{ pol}^2 \text{ ou } 0,1265 \text{ m}^2$$

#### 5.1.4 Determinação da velocidade mínima

A velocidade mínima é obtida a partir da Equação 9.

$$v = \frac{Q}{3600 \times (At \times \rho)} \quad (9)$$

Na qual,  $v$  é a velocidade mínima requerida da correia (em m/s),  $Q$  é a capacidade nominal do transportador de correia (em ton/h),  $At$  é a área total da seção transversal carregada (em m<sup>2</sup>) e  $\rho$  é o peso específico do minério de ferro transportado (em t/m<sup>3</sup>). Assim, têm-se que:

$$v = \frac{1850}{3600 \times 0,1265 \times 2,2} = 1,85 \text{ m/s}$$

#### 5.1.5 Determinação da velocidade máxima

A partir da tabela de velocidades máximas recomendadas da ABNT NBR 8011 (2014), levando em consideração o tipo de material a ser transportado e a largura do tapete do transportador de correia, consegue-se estimar que a velocidade recomendada máxima é de 4,0m/s. Vale ressaltar que, a partir de testes e acompanhamentos, são possíveis velocidades maiores.

Tabela 1 – Velocidades máximas recomendadas (ABNT NBR 8011, 2014).

Material transportado	Largura da correia mm	Velocidade da correia m/s
Cereais e outros materiais não abrasivos, de muito fácil acomodação	400 – 500	2,5
	600 – 650	3,5
	800 – 1 000	4,0
	1 200 – 3 000	5,0
Carvão mineral, terra, minérios moles, pedra britada fina e material abrasivo	400 – 500	2,0
	600 – 800	3,0
	1 000 – 1 600	4,0
	1 800 – 3 000	5,0
Minérios pontiagudos e pesados, pedra britada grossa e material muito abrasivo	400 – 500	1,75
	600 – 1 000	2,5
	> 1 000	4,0
Areia de fundição usada ou úmida, com ou sem inclusões metálicas, a temperaturas que não danifiquem a correia	Qualquer	1,75
Areia de fundição usada, materiais similares úmidos (ou abrasivos secos), descarregados da correia por desviadores	Qualquer	1,0
Materiais não abrasivos, descarregados da correia por desviadores	Qualquer	1,0
Polpa de madeira, descarregada da correia por desviadores	Qualquer	2,0
Materiais finos não abrasivos ou poucos abrasivos em alimentadores de correia	Qualquer	0,5
Materiais finos abrasivos em alimentadores de correia	Qualquer	0,25
<sup>a</sup> Velocidades superiores às recomendadas são possíveis mediante cuidados especiais na elaboração do projeto.		

### 5.1.6 Seleção da velocidade

Agora já sendo conhecidos os limites inferior e superior para auxiliar na seleção da velocidade do transportador de correia, foi selecionada como velocidade de operação a velocidade de 4,0m/s ou 787,40ft/min.

### 5.2 Verificação da carga imposta nos roletes

Sabe-se que o diâmetro do rolete é de 6 polegadas, que o espaçamento dos roletes de carga é de 1,60m (ou 5,25ft) e que o espaçamento dos roletes de retorno é de 5m (ou 16,40ft), algumas verificações serão feitas a fim de concluir que os roletes suportam a carga neles impostas.

### 5.2.1 Peso do tapete da correia ( $Wb$ )

A partir da tabela acerca do peso médio do tapete de correia abaixo, reafirmando que a largura do tapete do transportador é de 42 polegadas e que o peso específico do material transportado (minério de ferro) é de 137,5lb/ft<sup>3</sup>, pode-se estimar que o peso do tapete ( $Wb$ ) deste equipamento é de 14,00lbs/ft, ou 20,83kg/m.

Tabela 2 – Peso médio do tapete de correia (CEMA, 2005).

Largura da Correia (pol)	Material Transportado (lbs/ft <sup>3</sup> )		
	30-74	75-129	130-200
18	3.5	4.0	4.5
24	3.5	5.5	6.0
30	6.0	7.0	8.0
36	9.0	10.0	12.0
42	11.0	12.0	14.0
48	14.0	15.0	17.0
54	16.0	17.0	19.0
60	18.0	20.0	22.0
72	21.0	24.0	26.0
84	25.0	30.0	33.0
96	30.0	35.0	38.0

### 5.2.2 Peso do material ( $Wm$ )

O peso do material se dá pela Equação 10.

$$Wm = \frac{Q \times 2000}{60 \times V} \quad (10)$$

Portanto, substituindo os valores já conhecidos de Q (1132lbs/h) e v (787,40ft/min), o peso estimado do material é de:

$$Wm = 47,93 \frac{lbs}{ft} \text{ ou } 71,32 \frac{kg}{m}$$

### 5.2.3 Cálculo da carga aplicada nos roletes

O cálculo da tensão aplicada nos roletes de carga se dá pela Equação 11.

$$CRc = (Wb + (Wm \times K1) \times Si) \quad (11)$$

Utiliza-se a tabela abaixo a fim de estimar o fator  $K1$ . Diante dela, foi adotado o valor de 1,1 pelo fato de o peso do material estar entre 125 e 150 lbs/ft<sup>3</sup> e o diâmetro do rolete ser 6 polegadas.

Tabela 3 – Fator  $K1$  (CEMA, 2005).

Diâmetro do Rolete (pol)	Peso do Material (lbs/ft <sup>3</sup> )						
	50	75	100	125	150	175	200
4	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1
6	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1.2
8	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
10	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
12	1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
14	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
16	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4
18	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4

Com isso, conclui-se:

$$CRc = (14 + (47,93 \times 1,1) \times 5,25 = 290,69lbs \text{ ou } 1292,99N$$

Já, o cálculo da tensão aplicada nos roletes de retorno é realizado pela Equação 12.

$$CRr = (Wb \times Si) \quad (12)$$

Resultando em:

$$CRr = (14 \times 16,40) = 229,60lbs \text{ ou } 1021,26N$$

## 5.2.4 Verificação da tensão aplicada

Com o objetivo de verificar se as tensões impostas nos roletes de carga e de retorno são aceitáveis e operacionais, mede-se a razão entre as cargas calculadas e as cargas estimadas na tabela a seguir.

Tabela 4 – Capacidades de carga para os roletes (CEMA, 2005).

Largura da Correia (pol)	Ângulo (carga)			Rolete de retorno único	Dois Roletes de retorno em "v"
	20	35	45		
24	1200	1200	1200	600	
30	1200	1200	1200	600	
36	1200	1200	1200	600	850
42	1200	1200	1200	500	850
48	1200	1200	1200	425	850
54	1200	1116	1080	375	850
60	1150	1070	1035	280	850
66				215	850
72	1050	977	945	155	850
78				125	850

Assim, têm-se que, para os roletes de carga, a razão entre a carga calculada e a carga tabelada é  $\frac{CRc (calculado)}{CRc (tabelado)} = \frac{290,69}{1200} = 0,24$ . E, para os roletes de retorno, a razão é de  $\frac{CRr (calculado)}{CRr (tabelado)} = \frac{229,60}{850} = 0,27$ . Como os resultados se encontram entre 0 e 1, significa que as cargas calculadas são menores do que as tabeladas. Com isso, entende-se que são cargas suportadas pelos roletes.

## 5.3 Cálculo da Tensão Efetiva

A tensão efetiva no transportador de correia dá-se através da soma de outras tensões, listada na equação a seguir.

$$Te = Tx + Tyb + Tym + Tm + Tp + Tam + Tac \quad (13)$$

Onde,

- $Tx$  é a tensão devido ao atrito da correia com os roletes de carga e impacto;

- $T_{yb}$  é a tensão devido à resistência à flexão da correia conforme ela se desloca sobre os roletes;
- $T_{ym}$  é a tensão devido à resistência à flexão do material conforme ele se desloca sobre os roletes;
- $T_m$  é a tensão devido à altura de elevação do material;
- $T_p$  é a tensão devido ao dobramento da correia e ao atrito do eixo do tambor com o macal;
- $T_{am}$  é a tensão devido à aceleração do material durante a alimentação;
- $T_{ac}$  é a tensão devido aos acessórios do transportador.

### 5.3.1 Cálculo de $T_x$

A fim de encontrar o valor da tensão devido ao atrito da correia com os roletes de carga e retorno, é necessário estimar os fatores  $K_x$ . Tal fator é usado para calcular a resistência dos roletes e a resistência devido ao escorregamento da correia sobre os roletes, e  $K_t$ , fator de correção da temperatura.

$$T_x = L \times (K_x \times K_t) \quad (14)$$

#### 5.3.1.1 Determinação de $K_x$

$$K_x = 0,00068 \times (W_b + W_m) + \frac{A_i}{S_i} \quad (15)$$

Considerando a utilização do rolete de 6 polegadas de diâmetro da Série CEMA E6 (CEMA,2005), a partir da figura abaixo, a força requerida para rotacionar o rolete ( $A_i$ ) é de 2,8.

$A_i = 1,5$  para rolos de 6" de diâmetro, Série CEMA C6, D6

$A_i = 1,8$  para rolos de 5" de diâmetro, Série CEMA B5, C5, D5

$A_i = 2,3$  para rolos de 4" de diâmetro, Série CEMA B4, C4

$A_i = 2,4$  para rolos de 7" de diâmetro, Série CEMA E7

$A_i = 2,8$  para rolos de 6" de diâmetro, Série CEMA E6

Figura 3 – Valores tabelados para  $A_i$  conforme classificação dos roletes.

Com isso, calculando a Equação 15, têm-se que:

$$Kx = 0,00068 \times (14 + 47,93) + \frac{2,8}{5,25} = 0,58$$

### 5.3.1.2 Determinação de $Kt$

A partir da temperatura média do local aonde será construído o transportador de correia, considera-se uma temperatura média de 25°C, ou 77°F, estima-se o  $Kt$  com o valor de 1,0.

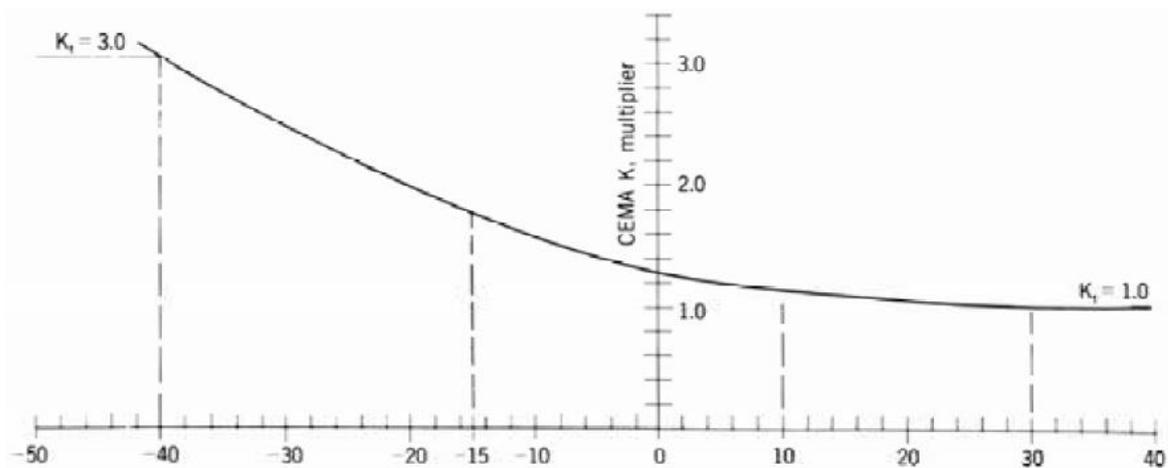


Figura 4 – Fator  $Kt$  em função da temperatura em °F (CEMA, 2005).

### 5.3.1.3 Cálculo de $Tx$

Portanto, substituindo os valores na Equação 14, encontra-se o valor de  $Tx$ .

$$Tx = 831,48 \times (0,58 \times 1,0) = 478,64 \text{ lbs}$$

### 5.3.2 Cálculo de $Tyb$

Com o objetivo de calcular a tensão devido à resistência à flexão da correia conforme ela se desloca sobre os roletes, é necessário avaliar as tensões para os roletes de carga e de retorno.

Para os roletes de carga, a tensão é calculada pela Equação 16.

$$Tyc = L \times Ky \times Wb \times Kt \tag{16}$$

Enquanto que para os roletes de retorno, a tensão é calculada a partir da Equação 17.

$$T_{yr} = L \times 0,0015 \times Wb \times Kt \quad (17)$$

A partir das Equações 16 e 17, é possível obter  $T_{yb}$  cuja fórmula é representada pela Equação 18.

$$T_{yb} = L \times Wb \times Kt \times (K_y + 0,015) \quad (18)$$

Tabela 5: Determinação do fator de resistência  $K_y$  (ABNT NBR 8205, 2014)

		Valores de $K_y$						
Comprimento do transportador $L$ (m)	Massa $q_c + q_m$ (kg/m)	Inclinação da correia						
		0°	2°	3,5°	5°	7°	14°	18°
180	30	0,035	0,032	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
	75	0,033	0,030	0,029	0,027	0,026	0,023	0,021
	115	0,032	0,030	0,028	0,026	0,024	0,020	0,016
	150	0,032	0,030	0,027	0,025	0,022	0,016	0,016
	225	0,035	0,031	0,026	0,024	0,019	0,016	0,016
	300	0,035	0,031	0,026	0,021	0,017	0,016	0,016
	375	0,035	0,031	0,024	0,020	0,017	0,016	0,016
	450	0,035	0,031	0,023	0,018	0,018	0,018	0,016
240	30	0,035	0,031	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
	75	0,032	0,029	0,028	0,026	0,025	0,021	0,018
	115	0,031	0,029	0,026	0,024	0,022	0,016	0,016
	150	0,031	0,028	0,025	0,022	0,020	0,016	0,016
	225	0,034	0,028	0,023	0,019	0,017	0,016	0,016
	300	0,035	0,027	0,021	0,016	0,016	0,016	0,016
	375	0,035	0,026	0,020	0,017	0,016	0,016	0,016
	450	0,035	0,025	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
300	75	0,031	0,028	0,026	0,024	0,023	0,019	0,016
	115	0,030	0,027	0,024	0,022	0,019	0,016	0,016
	150	0,030	0,026	0,022	0,019	0,017	0,016	0,016
	225	0,033	0,024	0,019	0,016	0,016	0,016	0,016
	300	0,032	0,023	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016
	375	0,033	0,022	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016
	450	0,033	0,021	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018

A partir da figura acima e dos valores de comprimento, da massa e da inclinação da correia, pode-se estimar que o valor de  $K_y$ , fator de carga usado para calcular a resistência durante a alimentação do transportador, é de 0,02. Com isso, calcula-se:

$$T_{yb} = 831,48 \times 14 \times 1,0 \times (0,02 + 0,015) = 407,43lbs$$

### 5.3.3 Cálculo de $T_{ym}$

Substituindo os valores previamente determinados na Equação 19, encontra-se o valor de  $T_{ym}$ .

$$T_{ym} = L \times K_y \times W_m \quad (19)$$

$$T_{ym} = 831,48 \times 0,02 \times 41,93 = 797,06lbs$$

### 5.3.4 Cálculo de $T_m$

Alterando H, a altura de elevação do material, já determinada, na Equação 20, encontra-se:

$$T_m = H \times W_m \quad (20)$$

$$T_m = 136,12 \times 47,93 = 6.524,22lbs$$

### 5.3.5 Cálculo de $T_p$

Sabe-se que as correias em questão possuem um tambor de retorno (baixa tensão), um tambor de acionamento (alta tensão), um tambor de esticamento (alta tensão), dois tambores de desvio e um tambor de encosto.

Tabela 6 – Tensão necessária para rotacionar os tambores (ABNT NBR 8205, 2014)

Ângulo de abraçamento	Localização dos tambores	Resistência (lbs)
150° a 240°	Lado de alta tensão	200
	Lado de baixa tensão	150
150°	Qualquer	100

Com isso,

$$Tp = 150 + (2 \times 200) + (3 \times 100) = 850\text{lbs}$$

### 5.3.6 Cálculo de $Tam$

O cálculo de  $Tam$  é dado pela Equação 21.

$$Tam = M \times V_c \quad (21)$$

Onde,  $M = \frac{W}{g}$ ,  $W = \frac{Q \times 2000}{3600}$ ,  $g = 32,2 \text{ ft/s}^2$  e  $V_c = \frac{v-v_o}{60}$ . Portanto, substituindo os valores, chega-se a:

$$\begin{aligned} Tam &= 2,8755 \times 10^{-4} \times Q \times (V - Vo) \\ Tam &= 2,8755 \times 10^{-4} \times 1132 \times (787,40 - 0) = 256,35\text{lbs} \end{aligned}$$

### 5.3.7 Cálculo de $Tac$

A tensão devido aos acessórios do transportador equivale à soma da tensão devido ao atrito causado pela guia de material ( $Tsb$ ), da tensão devido ao atrito causado pelos limpadores de correia ( $Tpl$ ) e da tensão devido ao atrito causado pelos raspadores de correia ( $Tbc$ ).

$$Tac = Tsb + Tpl + Tbc \quad (22)$$

#### 5.3.7.1 Determinação de $Tsb$

Considerando o comprimento da guia ( $Lb$ ) igual a 26,3 pés, a altura de material em contato com a guia ( $hs$ ) igual a 2,63 pés e o fator de atrito da guia com o material transportado ( $Cs$ ) igual a 0,2760, mediante Tabela 7 abaixo, encontra-se o valor de  $Tsb$ .

$$Tsb = Lb \times (Cs \times hs^2 + 6) \quad (23)$$

Tabela 7 – Fator  $C_s$  (CEMA, 2005).

Material	Factor $C_s$	Material	Factor $C_s$	Material	Factor $C_s$
Alumina, pulv. dry	0.1210	Coke, ground fine	0.0452	Limestone, pulv., dry	0.1280
Ashes, coal, dry	0.0571	Coke, lumps and fines	0.0186	Magnesium chloride, dry	0.0276
Bauxite, ground	0.1881	Copra, lumpy	0.0203	Oats	0.0219
Beans, navy, dry	0.0798	Cullet	0.0836	Phosphate rock, dry, broken	0.1086
Borax	0.0734	Flour, wheat	0.0265	Salt, common, dry, fine	0.0814
Bran, granular	0.0238	Grains, wheat, corn or rye	0.0433	Sand, dry, bank	0.1378
Cement, Portland, dry	0.2120	Gravel, bank run	0.1145	Sawdust, dry	0.0086
Cement clinker	0.1228	Gypsum, 1/2" screenings	0.0900	Soda ash, heavy	0.0705
Clay, ceramic, dry fines	0.0924	Iron ore, 200 lbs/cu ft	0.2760	Starch, small lumps	0.0623
Coal, anthracite, sized	0.0538	Lime, burned, 1/8"	0.1166	Sugar, granulated dry	0.0349
Coal, bituminous, mined	0.0754	Lime, hydrated	0.0490	Wood chips, hogged fuel	0.0095

$$Tsb = 26,3 \times (0,2760 \times 2,63^2 + 6) = 208,01lbs$$

#### 5.3.7.2 Determinação de $Tpl$

A partir do Método CEMA (2005), considera-se o valor da força de 5,0lbs/pol por acessório. A fim de encontrar o valor de  $Tpl$ , multiplica-se a quantidade de limpadores pela tensão e pelo comprimento da correia. Sabendo que a largura da correia é de 42 polegadas e que possuem dois limpadores de correia em "V" no transportador, têm-se:

$$Tpl = 2 \times 5,0 \times 42 = 420lbs$$

#### 5.3.7.3 Determinação de $Tbc$

Considera-se que o equipamento possui dois raspadores diagonais e, segundo o método CEMA (2005), deve-se adotar uma força de 5,0lbs/pol para calcular a tensão devido ao atrito causado pelos raspadores. Com isso, estima-se:

$$Tbc = 2 \times 5,0 \times 42 = 420lbs$$

#### 5.3.7.4 Determinação de $Tac$

Conhecendo todos os valores de tensões acima, é possível determinar então a tensão devido aos acessórios do transportador.

$$T_{ac} = 208,01 + 420 + 420 = 1.048,01\text{lbs}$$

### 5.3.8 Cálculo de $T_e$

Substituindo os valores na Equação 13, encontra-se a tensão efetiva na correia.

$$T_e = 478,64 + 407,43 + 797,06 + 6.524,22 + 850 + 256,35 + 1.048,01$$

$$T_e = 10.361,71\text{lbs}$$

### 5.4 Cálculo da Potência Requerida

Substituindo os valores na Equação 24, determina-se a potência necessária do motor.

$$Pot = \frac{T_e \times v}{33.000} \quad (24)$$

$$Pot = \frac{10.361,71 \times 787,40}{33.000} = 247,24\text{HP ou } 184,36\text{kW}$$

### 5.5 Custos com Consumo de Energia Elétrica

Considerando o regime de trabalho de 24 horas por dia e a utilização média dos transportadores de correia de 75%, calcula-se o consumo de energia elétrica mensal do transportador de correia.

$$E_{el} = P \times \Delta t \quad (25)$$

Com isso, têm-se:

$$E_{el} = 184,36 \times 24 \times 0,75 \times 30 = 99,56\text{MWh}$$

Foi construída junto à equipe de Suprimentos da Samarco Mineração S.A. uma estimativa de custo de R\$190,00 por MWh consumido, com isso, pode-se concluir que, mensalmente, o custo com consumo de energia elétrica com a utilização deste equipamento é de R\$18.915,76. Já, anualmente, o custo é de R\$226.989,16.

## 5.6 Custos OPEX

Os custos *OPEX* (*Operational Expenditure*) são as despesas operacionais. Neste estudo considerou-se como a soma dos custos com energia elétrica, operação e manutenção. A fim de determinar os custos *OPEX*, foi necessário estimar um percentual plausível de quanto representaria o custo com energia elétrica, uma vez que este já é de conhecimento.

A partir da capacidade do transportador e a sua utilização, pode-se afirmar que o equipamento transporta cerca de 12,15Mton por ano.

Conhecendo a produtividade anual do transportador e relacionando com o “*Mineral Industry Research Laboratory*” (CLARK, 1973), foi estimado que, do custo *OPEX*, 80% do valor era referente à custos relacionados ao consumo de energia elétrica e os outros 20% relacionados à custos com operação e manutenção do equipamento.

Tabela 8 – Custos OPEX (CLARK, 1973).

Milhões de toneladas por ano	Largura da correia	Energia	Mão de obra (anual)	Custos com manutenção	Total
5	24	\$186,325.00	\$90,000.00	\$8,000.00	\$284,325.00
10	36	\$286,440.00	\$90,000.00	\$10,000.00	\$386,440.00
15	42	\$388,740.00	\$90,000.00	\$12,000.00	\$490,740.00

Sabe-se que o custo anual com o consumo de energia elétrica do transportador de correia é de R\$226.989,16 e que ele representa 80% dos custos operacionais.

$$\text{Custo OPEX} = \frac{\text{Custo com o consumo de energia elétrica}}{\%} \quad (26)$$

Portanto, o custo OPEX é R\$283.736,45.

## 5.7 Custos CAPEX

Os custos CAPEX (*Capital Expenditure*) são as despesas de capital, geralmente com o objetivo de adquirir bens físicos e serviços para expandir a capacidade da companhia. A fim de estimar as despesas de capital junto à planejadores de manutenção da Samarco S.A., decidiu-se adotar que o CAPEX é a somatória das despesas com aquisição de roletes, tapete, motor e tambores, estrutura, cobertura e instalação. Destes, foi definido que:

- A aquisição do tapete de correia representa 25% do custo CAPEX;
- A aquisição de roletes representa 18% do custo CAPEX;
- A aquisição de motor e tambores representa 20% do custo CAPEX;
- A aquisição de componentes estruturais representa 35% do custo CAPEX;
- A aquisição de componentes para a cobertura do equipamento representa 2% do custo CAPEX;
- A instalação e montagem do transportador representa 75% do valor dos componentes, sendo que 30% refere-se às instalações eletromecânicas e 45% refere-se às instalações civis;

Mediante consulta ao sistema interno SAP, concluiu-se que o preço do tapete por metro é de R\$442,60. Como o transportador de correia dimensionado possui 513 metros de comprimento de tapete, encontra-se o valor de R\$227.053,80 para a aquisição deste componente. Dessa maneira, pode-se estimar o custo de aquisição e instalação dos demais componentes, encontrando o custo CAPEX de R\$1.316.912,04.

Tabela 9 – Estimativa de Custos CAPEX (Fonte: próprio autor).

Custo com a aquisição de roletes:	R\$	163,478.74
Custo com a aquisição do tapete de correia:	R\$	227,053.80
Custo com a aquisição de motor e tambores:	R\$	181,643.04
Custo com a aquisição de componentes estruturais:	R\$	317,875.32
Custo com componentes para cobertura do equipamento:	R\$	18,164.30
Custo referente a instalação eletromecânica:	R\$	408,696.84
Custo redereente a instalação civil:	R\$	272,464.56
<b>Custo CAPEX:</b>	<b>R\$</b>	<b>1,316,912.04</b>

## 5.8 Custos Totais

Com o objetivo de estimar o custo anual com o transportador de correia, definiu-se que o equipamento permanecerá em operação por cinco anos. Com isso, o custo total anual é:

$$Custo\ Total = \frac{CAPEX}{anos} + OPEX \quad (27)$$

Resultando na despesa anual de R\$547.118,86 e um custo horário de aproximadamente R\$83,30.

Comparando com Chaves (2015) ao qual projeto determina 94% do custo total com custos de capital e 6% com custos operacionais, o presente estudo teve como percentual de custos 82% referente aos custos CAPEX e 18% referente aos custos OPEX.

## 5.9 Custo por tonelada de minério transportada

Ao substituir os dados na Equação 28, têm-se o custo por tonelada transportada pelo transportador de correia de R\$0,05/t. Cabe ressaltar que não foi considerado o equipamento de carga ao qual alimenta o sistema de transporte e nem o custo com o carregador.

$$Custo/t = \frac{Custo\ Total}{Massa} \quad (28)$$

## 6 CONCLUSÃO

A eficiência dos processos produtivos está diretamente relacionada ao transporte do material. Um método usualmente visto em empreendimentos minerários é o transporte de minério através de transportadores de correia. Ele apresenta baixos custos de capital, operacionais e de manutenção, o que representa uma enorme vantagem competitiva. É um equipamento versátil e está disponível em vários modelos e dimensões.

Neste estudo, pôde-se validar o sistema de dimensionamento de custos da instalação e operação de um transportador de correia. Na qual, a partir da estimativa percentual de custos facilmente determinados, retorna-se uma estimativa global do custo, relacionando-se com a produtividade.

Pôde-se concluir, então, que o método de transporte através de transportador de correia, além de sua comprovada eficiência, apresenta baixos custos operacionais, conforme evidenciado nos resultados.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6177. *Transportadores contínuos - Transportadores de correia - Terminologia*. 2016.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8011. *Transportadores contínuos - Transportadores de Correia - Cálculo da Capacidade*. 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8205. *Transportadores contínuos - Transportadores de correia - Cálculo da força e potência*. 2014.
- BALLOU, R. H. 2001. *Gerenciando a Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. Porto Alegre: Bookman.
- BORGES, T. C. 2013. *Análise de Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração*. Ouro Preto.
- CEMA. 2005. *Belt Conveyors for Bulk Materials, 6ª Ed.* USA.
- CHAVES, F.A. 2015. *Seleção de Sistemas de Transportes Industriais para um projeto de mineração em superfície: Mineroduto, Caminhões Fora de Estrada e Transportadores de Correi*. Santos.
- CLARK, P. R. 1973. *M.I.R.L. Report No. 31*. Alaska.
- CURI, A. 2014. *Minas a Céu Aberto - planejamento de lavra*. São Paulo: Oficina de Textos.
- CURI, A. 2017. *Lavra de Minas*. São Paulo: Oficina de Textos.
- ELETROBRÁS *et al.* *Correias Transportadoras: guia básico*. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Procel Indústria - Edição Seriada. 2009.
- LOPES, J. 2010. *Viabilização Técnica e Econômica da Lavra Contínua de Minério de Ferro com Uso de Sistema de Britagem Móvel "in pit" Auto Propellido*. Ouro Preto.

PINTO, C. L. L.; DUTRA, J. I.G. Curso Introdução ao Planejamento e Operação de Lavra - A Céu Aberto e Subterrânea. Departamento de Engenharia de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.

SACRAMENTO, R. C. F.; Transporte de Granéis. Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Disponível em: < <http://www.transportedegraneis.ufba.br/>> Acesso em: Abril/2021.

