



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE QUÍMICA



MAYRLLA ANDRYELLY COSTA CARVALHO

ANÁLISE DE ALIMENTADORES DE CORREIA HDRN SEGUNDO SEU CONSUMO
DE ENERGIA, AS SUAS VARIÁVEIS DE PROJETO E A DENSIDADE DO MATERIAL

UBERLÂNDIA - MG

2022

MAYRLLA ANDRYELLY COSTA CARVALHO

ANÁLISE DE ALIMENTADORES DE CORREIA HDRN SEGUNDO SEU CONSUMO
DE ENERGIA, AS SUAS VARIÁVEIS DE PROJETO E A DENSIDADE DO MATERIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Moilton Franco Ribeiro
Júnior

UBERLÂNDIA - MG

2022

MAYRLLA ANDRYELLY COSTA CARVALHO

ANÁLISE DE ALIMENTADORES DE CORREIA HDRN SEGUNDO SEU CONSUMO DE ENERGIA, AS SUAS VARIÁVEIS DE PROJETO E A DENSIDADE DO MATERIAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Moilton Franco Ribeiro Júnior
– Professor Titular (FEQUI/UFU)

Prof. Dr. Rubens Gedraite – Professor Associado II - (FEQUI/UFU)

Prof. Dra. Thamayne Valadares de Oliveira – Professor Adjunto A (FEQUI/UFU)

Uberlândia, 04 de Abril de 2022
2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmão por todo o apoio e pela ajuda, em especial ao meu esposo Tiago e minha filha Sofia que sempre acreditaram no meu potencial.

Aos amigos que conheci e convivi na graduação de Engenharia Química, em especial a Kellen, Luana, Maria Julia, Rayara e Victoria, que me ajudaram sempre que precisei. Ao professor Moilton, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação, paciência e amizade.

Por fim, a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A literatura disponível para especificação de equipamentos empregados no beneficiamento de minérios permite que o engenheiro adquira quaisquer deles seguindo suas necessidades na fábrica observando as especificações do fabricante no que se refere à capacidade, potência, características de medidas internas, bem como propriedades do material a ser cominuído. Por outro lado, tem-se notado que ao empregar as especificações recomendadas pelo fabricante para britadores, por exemplo, na tentativa de simular o processamento de um material, pode-se concluir que algumas variáveis de projeto causam a inviabilidade daquele equipamento adquirido, mostrando que há restrições que o manual do fabricante não contempla. Um equipamento usual em mineradoras é o alimentador que serve para prover britadores e moinhos de material pra ser processado. Dessa forma, no caso de alimentadores de correia (esteira) deseja-se estudar a influência de algumas variáveis de projeto, tais como dimensões, peso e velocidade da correia e ângulos internos, na decisão final de escolha e compra do equipamento. Algumas recomendações do fabricante, tal como, a velocidade máxima da correia e altura do material sobre a correia (D) deve ser verificada com cálculos. Além disso, deverá ser verificado como os fatores de atrito (f , f_m etc) podem alterar o uso do alimentador adquirido.

Palavras-chave: Alimentador. Energia. Projeto. Especificação.

ABSTRACT

The literature available for specification of equipment used in mineral processing allows the engineer to acquire any of them following their needs at the factory, observing the manufacturer's specifications regarding capacity, power, internal dimensions characteristics, as well as properties of the material to be comminuted. On the other hand, it has been noticed that when using the specifications recommended by the manufacturer for crushers, for example, in an attempt to simulate the processing of a material, it can be concluded that some design variables cause the unfeasibility of that acquired equipment, showing that there are restrictions that the manufacturer's manual does not include. A common equipment in mining companies is the feeder that serves to provide crushers and mills of material to be processed. Thus, in the case of belt feeders (belt) it is desired to study the influence of some design variables, such as dimensions, weight and speed of the belt and internal angles, in the final decision to choose and purchase the equipment. Some manufacturer recommendations such as maximum belt speed and height of material over belt (D) should be verified with calculations. In addition, it should be checked how friction factors (f , f_m etc) can change the use of the feeder purchased.

Keywords: feeder; energy; Project; specification.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,05 m/s.....7

Tabela 2 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,1m/s.....7

Tabela 3 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,3m/s.....7

Tabela 4 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,6 m/s.8

Tabela 5 - Resultados de teste de densidade do material para a capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16” a uma velocidade de 0,1 m/s.....8

Tabela 6 - Resultados de teste da largura da correia para a capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN movendo a uma velocidade de 0,15 m/s.....9

Tabela 7- Resultados de teste da largura da correia para a capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN movendo a uma velocidade de 0,15 m/s.....9

Tabela 8 - Resultados de influência dos termos f_m e f_{sm} no consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,2 m/s.....9

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do transportador usado por Tavares e Faria.....	4
Figura 2 - Esquema representativo de um alimentador com medidas de interesse no projeto.....	5
Figura 3 - Contribuição de cada termo de potência consumida na potência total.....	10
Figura 4 - Potência total consumida em função do modelo de alimentador de correias HDRN para duas alturas de material.....	11
Figura 5 - Capacidade do alimentador em função do modelo ou peso.....	12

SIMBOLOGIA

L = comprimento da esteira;

L_2 = abertura da tremonha;

L_1 = comprimento de atrito;

B = largura da esteira;

D = altura do material sobre a esteira;

V = velocidade da esteira;

γ = densidade do material;

θ = ângulo de repouso do material sobre a correia;

W_b = que é o peso da correia que é uma função de sua largura;

Q = capacidade de alimentação;

B = largura útil da tremonha;

D = altura;

t = tonelada;

h = hora;

m = metro;

P_t = esforço total;

P_e = tensão para movimentar a correia vazia;

P_1 = tensão para movimentar o material;

P_s = tensão para movimentar o material;

P_{fs} = tensão devida ao atrito nas guias laterais;

P_h = tensão devido à elevação do material;

f_{sm} = coeficientes de atrito

f_m) = coeficientes de atrito

N_e = potência total efetiva;

N_v = potência para acionar o motor a vazio a uma velocidade de 1,0m/s;

N_g = potência para vencer o atrito das guias laterais à velocidade de 1,0 m/s;

N_1 = potência para deslocar 27,8 kg/s de material de uma distância na horizontal;

1 INTRODUÇÃO

É bem conhecido e claro, aos profissionais de engenharia e exatas em geral que para um equipamento seja robusto e bem apropriado para a função que desempenhará, o seu dimensionamento e projeto possuem papel fundamental na sua operacionalidade. Dentre esses estão os alimentadores de material, tais como os de sapatas, correias, Table Feeder, que são equipamentos vastamente aplicados com sucesso em plantas de Mineração, Sinterização e Pelotização.

Comparado ao Table Feeder, o Alimentador de Correia é mais frágil e requer mais cuidados com o material manuseado. Matacos ou grãos maiores de minério podem danificar a correia transportadora com maior facilidade do que causar danos ao Table Feeder. Caso haja contenção de matacos a vida útil da correia transportadora será ainda maior. Ambos os equipamentos possuem excelente eficiência quando bem operados e quando possuem bons padrões de manutenção que são executados de maneira adequada.

A literatura, LIMA *et al.* (2016) apresentou uma solução de problema de substituição em que foi selecionado o Alimentador de Correia devido ao seu custo bastante inferior em relação a um novo Table Feeder. Por se tratar de um equipamento mais simples a sua manutenção também é mais simples, podendo-se utilizar os mesmos padrões de inspeção em Transportadores de Correia.

A efetividade do trabalho de Lima et al, 2016 se resumiu no projeto de um equipamento bem dimensionado, que desempenha bem a sua função e que permite que a equipe de manutenção possa lidar com o mesmo de forma simples e objetiva. Todo projeto do Alimentador de Correia e as modificações na Balança Dosadora levaram em consideração algumas premissas de componentes robustos, de maior vida útil e normalmente já aplicados em outros equipamentos.

Nos melhores equipamentos a fase de projeto contempla estudos para que o mesmo opere com a maior eficiência e que a manutenção seja simples. Bons acessos às intervenções e componentes comuns que sejam facilmente encontrados no almoxarifado da empresa melhoram a aceitação do equipamento. Somando-se a limpeza adequada do equipamento com a execução dos planos de inspeção e manutenção, será possível garantir um excelente desempenho para o equipamento bem projetado, assim garantindo baixos índices de falhas.

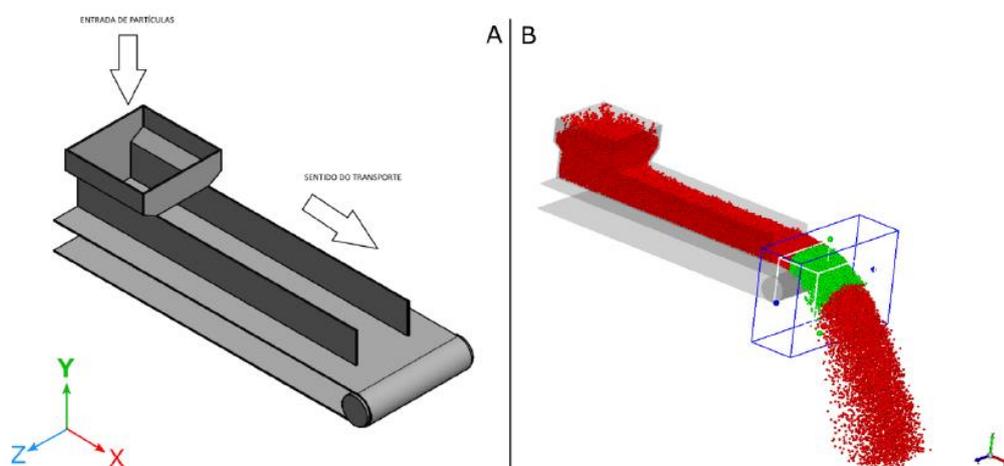
Carvalho (2015) apresentou um estudo de transportadores de correia de alta velocidade (High Speed) proposto pela Chemtech foi realizada, demonstrando aspectos de economia em termos de em termos de custos de implantação e operação (energia). Relataram que a adoção

de uma maior velocidade da correia (de 4,2 m/s para 6,2 m/s) além de contribuir para a redução do investimento inicial do empreendimento proporcionou um menor consumo de energia (custo de operação).

O autor comenta que seu trabalho está restrito aos transportadores de correia de longa distância (TCLD) e que, dessa forma, deve-se ter o cuidado que suas conclusões podem não se aplicar a casos mais específicos. Algumas propostas adicionais podem ser verificadas no trabalho de CARVALHO (2015), tais como: (1) para uma maior economia de Capex e Opex neste tipo de transportador de correia, deverá ser exigida a análise dinâmica de seu projeto antes de sua fabricação; (2) deverá também ser executada a verificação geométrica do chute de transferência através de metodologia DEM (Discrete Element Modeling) que simulará o comportamento do fluxo de material no chute adequando-o ao menor atrito de passagem e consequentemente maior durabilidade das chapas de desgaste.

Investigações realizadas por Tavares e Faria, 2015 mostraram que algumas propriedades do material granular influenciam no fenômeno observado de aumento espontâneo da componente horizontal da velocidade das partículas. Eles empregaram dinâmica molecular para realizar simulações computacionais onde se percebe a variação da velocidade, considerando o atrito entre grãos, a vazão do fluxo granular e a coesão entre os grãos. Mostraram que, em transportadores ou alimentadores de correia, o atrito entre grãos aproxima o escoamento do comportamento de um sólido granular.

Figura 1 - Esquema do transportador usado por Tavares e Faria, 2015.



Fonte: (TAVARAS; FARIA, 2015).

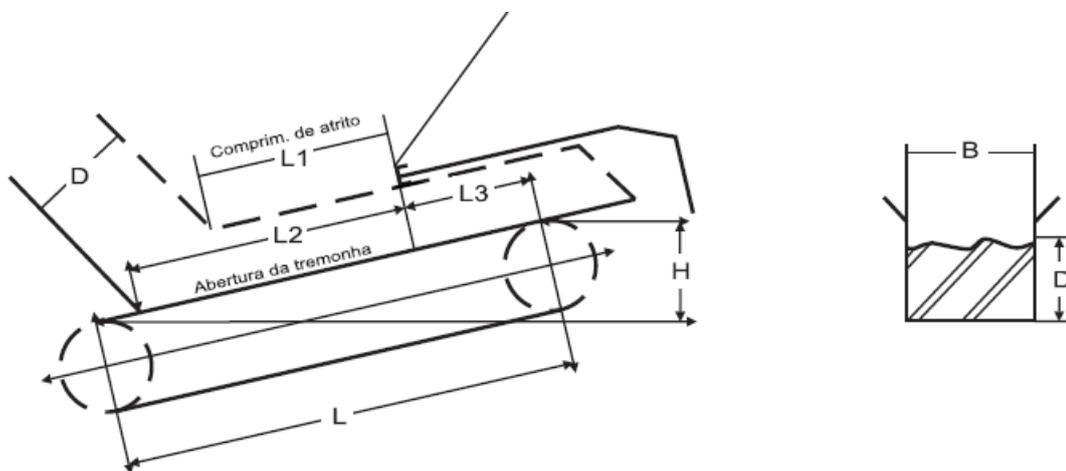
Um estudo sobre o desempenho em termos de eficiência energética e taxa de transporte de um sistema pneumático que dispõe de um alimentador de sólidos não convencional foi

desenvolvido pela empresa e nomeado Batchpump (FREITAS *et al.*, 2019). O objetivo deste projeto consiste em encontrar o ponto de operação ótimo do sistema, a fim de validar a hipótese que este novo produto possui capacidade de transporte e consumo comparáveis aos de um vaso de pressão comum. Dessa forma, no caso de alimentadores de correia (esteira) deseja-se estudar a influência de algumas variáveis de projeto, tais como dimensões, peso e velocidade da correia e ângulos internos, na decisão final de escolha e compra do equipamento.

2 METODOLOGIA

A Figura 2 apresentada a seguir, exibe algumas dimensões que são específicas de alimentadores, sejam eles de sapatas ou correias. As dimensões L , L_2 e L_1 seriam, respectivamente, comprimento da esteira, abertura da tremonha e comprimento de atrito. As grandezas B e D estão relacionadas à largura da esteira e à altura do material sobre a esteira. Alguns fabricantes recomendam que D seja em torno de $B/2$, ou seja, a metade da largura da esteira.

Figura 2 - Esquema representativo de um alimentador com medidas de interesse no projeto.



Outras variáveis que aparecem no projeto e especificação de um alimentador são: a velocidade (V) da esteira (correia), a densidade do material (γ), ângulo (θ) de repouso do material sobre a correia, W_b que é o peso da correia que é uma função de sua largura.

A capacidade de transporte de um alimentador pode ser estimada por:

$$Q = B \times D \times \gamma \times V \times 3600 \quad (1)$$

Onde: Q é capacidade de alimentação (t/h), B é a largura útil da tremonha (m) e D é a altura da camada de material a transportar (m).

Teoricamente, ou por informação do fabricante, costuma-se recomendar um valor máximo de velocidade da correia. Pretende-se verificar, com cálculos, essas e outras velocidades e discutir o porquê da recomendação deste máximo. Outro aspecto interessante seria averiguar, com valores calculados, o porquê a altura do material na esteira é recomendada ser B/2. Nota-se que existe uma equação para cálculo de D (altura da camada de material sobre um estudo da influência das variáveis de projeto na capacidade e potência do motor do alimentador podem conduzir a uma possível otimização.

Nesse trabalho, alguns testes, com resultados numéricos, no caso do alimentador de correias, modelo HDRN, devem obedecer aos seguintes limites de variação para as variáveis de entrada: $10^0 \leq \theta \leq 30^0$; $0,8 \text{ t/m}^3 \leq \gamma \leq 2,4 \text{ t/m}^3$; $0,406 \text{ m} \leq B \leq 2,13 \text{ m}$; $1,0 \text{ m} \leq L \leq 10,0 \text{ m}$ e $0,05 \text{ m/s} \leq V \leq 0,3 \text{ m/s}$.

A estimativa do gasto de energia será feita baseada na equação proposta pelo fabricante de alimentadores da Metso Minerals, que propõe estimar o valor total gasto (P_t) no transporte dado por

$$P_t = P_e + P_1 + P_s + P_{fs} + P_h \quad (2)$$

Em que: P_t = esforço total (kgf), P_e = tensão para movimentar a correia vazia (kgf), P_1 = tensão para movimentar o material (kgf), P_s = tensão para movimentar o material (kgf), P_{fs} = tensão devida ao atrito nas guias laterais (kgf) e P_h = tensão devido à elevação do material (kgf).

Os valores dos coeficientes de atrito (f_{sm} , f_m) que entram nas estimativas de P_{sf} e P_s mencionadas na equação (2) estão tabelados pelo fabricante Metso Minerals. Os materiais que serão considerados no estudo serão areia, cascalho e escória que apresentam f_{sm} de 0,33, 0,5 e 0,6 respectivamente. O valor de f_m será de 0,65 para qualquer material.

O método Prático, mais simplificado, dedica-se o uso a transportadores simples e de pequena capacidade. Neste método, são usados tabelas e gráficos para se calcular a potência do motor de acionamento da correia. Primeiramente, é calculada a potência necessária para o transporte do material, e, em seguida, as tensões na correia. Essa potência, chamada de potência efetiva, é calculada através da Equação 2 (SILVA, *et al.* 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir de testes de capacidade e consumo de energia alterando velocidade da correia HDRN, assim como ângulo de inclinação, peso e comprimento comparou-se os resultados para estipular melhor forma de trabalho do equipamento.

As Tabelas 1-4 apresentam os resultados para o alimentador de correia de 16" de largura operando na faixa de velocidade de 0,05 a 0,3 m/s. Nota-se, em todos os casos, um aumento da capacidade de transporte com o aumento da velocidade e da altura de material sobre a esteira. Por outro lado, o ângulo de repouso não exerce influência na capacidade de alimentação. Os termos de gasto de energia p_e e p_l permanecem praticamente invariáveis na faixa de altura de material (D), ângulo de repouso (θ) e V(velocidade) estudadas.

Tabela 1 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,05 m/s (γ : 1,6 t / m³; θ =10°; L=1,0 m; L1= 0,5 m L2=0,85 m)

D	T	Pe	P1	ps	pfs	pt	Decx
0,1	11,71	50,2	11,2	81,9	89,8	233,2	0,5309
0,2	23,40	50,2	11,6	60,8	158,3	280,9	
0,3	35,11	50,2	11,95	39,7	214,2	316,1	p_{tmax}
0,4	46,82	50,2	12,34	18,5	275,0	338,7	349,4
0,6	70,22	50,2	13,1	-23,7	306,8	346,43	

Tabela 2 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,1m/s (γ : 1,6 t / m³; L=1,0 m; L1= 0,5 m L2=0,85 m)

D	T	pe	P1	ps	Pfs	ph	pt	Decx
$\theta=5^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,2	81,9	1148,8	0	1292	0,6849
0,2	46,8	50,2	11,6	60,8	2112,4	0	2235	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	11,9	39,7	2899,8	0	3001	1307
$\theta=10^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,6	81,9	89,9	0	233,2	0,5309
0,2	46,8	50,2	11,95	60,8	158,3	0	280,9	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	12,34	39,7	214,2	0	316,1	349,4
$\theta=15^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,6	81,9	13,99	0	157,3	-1,9517
0,2	46,8	50,2	11,95	60,8	18,27	0	140,9	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	12,34	39,7	21,8	0	123,6	322,2
$\theta=20^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,2	81,9	10,01	0	153,4	-11,64
0,2	46,8	50,2	11,6	60,8	10,94	0	133,5	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	11,9	39,7	11,7	0	113,6	1311,6

A Tabela 2 reforça que o ângulo de repouso não influencia na capacidade de alimentação. Ele influencia fortemente no termo de gasto de energia p_{fs} de forma que quanto menor o ângulo de repouso maior o valor de p_{fs} que também é diminuído ao reduzir a altura de material sobre a correia.

Tabela 3 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,3m/s (γ : 1,6 t / m³; L=1,0 m; L₁= 0,5 m L₂=0,85 m)

D	T	p_e	P_1	p_s	P_{fs}	p_h	p_t	D_{cex}
$\theta=10^\circ$								
0,1	70,2	50,2	11,6	81,9	89,9	0	233,2	0,5309
0,2	140,5	50,2	11,95	60,8	158,3	0	280,9	p_{tmax}
0,3	210,7	50,2	12,34	39,7	214,2	0	316,1	349,4
$\theta=15^\circ$								
0,1	70,2	50,2	11,6	81,9	13,99	0	157,3	-1,9517
0,2	140,5	50,2	11,95	60,8	18,27	0	140,9	p_{tmax}
0,3	210,7	50,2	12,34	39,7	21,8	0	123,6	322,2
$\theta=20^\circ$								
0,1	70,2	50,2	11,2	81,9	10,01	0	153,4	-11,64
0,2	140,5	50,2	11,6	60,8	10,94	0	133,5	p_{tmax}
0,3	210,7	50,2	11,9	39,7	11,7	0	113,6	1311,6

Tabela 4 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,6 m/s (γ : 1,6 t / m³; $\theta=15^\circ$; L=1,0 m; L₁= 0,5 m L₂=0,85 m)

De	T	p_e	P_1	p_s	P_{fs}	p_h	p_t	D_{cex}
0,1	140,5	50,2	11,6	81,9	13,99	0	157,3	-1,9517
0,2	280,9	50,2	11,95	60,8	18,27	0	140,9	p_{tmax}
0,3	421,4	50,2	12,34	39,7	21,8	0	123,6	322,2

Tabela 5 - Resultados de teste de densidade do material para a capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,1 m/s ($\theta=10^\circ$; L=1,0 m; L₁= 0,5 m L₂=0,85 m)

D	T	p_e	P_1	p_s	P_{fs}	p_h	p_t	D_{cex}
								p_{tmax}
1,8								
0,1	26,3	50,2	12,6	92,2	99,98	0	255,0	0,5309
0,2	52,7	50,2	13,0	68,4	177,0	0	308,6	385,7
0,3	79,0	50,2	13,4	44,6	239,8	0	342,2	
2,0								
0,1	29,3	50,2	13,96	102,4	110,1	0	276,7	0,5309
0,2	58,5	50,2	14,5	76,0	195,6	0	336,3	422,0
0,3	87,8	50,2	14,94	49,6	265,5	0	380,3	
2,2								

0,1	32,2	50,2	15,4	112,7	120,2	0	298,5	0,5309
0,2	64,4	50,2	15,9	83,6	214,3	0	364,0	458,3
0,3	96,6	50,2	16,4	54,5	291,2	0	412,4	

A densidade do material provoca bastante variação no funcionamento da correia HDRN, como pode ser conferido na Tabela 5. Naturalmente que a medida que se aumenta a altura de material sobre a correia, sua capacidade de alimentação aumenta, bem como o consumo energético. Por outro lado, parece não ser compensador duplicar ou triplicar a altura de material (D) já que se observa que existe uma tendência de o consumo de energia ir se aproximando do valor máximo à medida que aumentam a densidade e a altura.

Tabela 6 - Resultados de teste da largura da correia para a capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN movendo a uma velocidade de 0,15 m/s ($\theta=10^\circ$; L=1,0 m; L1= 0,5 m; L2=0,85 m; D=B/2)

B(in)	W _b	D _e	T	p _e	P _l	p _s	p _{fs}	p _t	D _{ecx}	p _{tmax}
16	6,4	0.203	71,3	50,2	11,6	60,1	160,3	282	0,53	349,4
20	8,0	0.254	111,5	50,3	18,1	93,9	245,4	408	0,66	512,8
24	9,6	0,305	160,5	50,4	26,0	135	349,4	561	0,79	712,4
30	13,5	0,381	250,8	50,7	40,7	211	541	844	1,00	1080
36	16,2	0.457	361,2	50,8	58,6	304	775	1189	1,20	1529
42	21,0	0.533	491,6	51,1	79,8	414	1051	1597	1,40	2060
48	24,0	0,61	642	51,3	104	541	1371	2067	1,60	2672
54	37,6	0,686	812	52,1	132	684	1732	2601	1,80	3367

As Tabelas 6 e 7 mostram que o termo de atrito (p_{fs}) é o majoritário no consumo de energia chegando a representar, em média, cerca de 78% do consumo do alimentador. É possível observar que para dobrar a capacidade alimentada não é preciso dobrar a largura da correia. Ao dobrar a largura da correia a sua capacidade, assim como o consumo de energia, praticamente quadruplicam.

Tabela 7 - Resultados de teste da largura da correia para a capacidade e consumo de energia para uma correia HDRN movendo a uma velocidade de 0,15 m/s ($\theta=10^\circ$; L=1,0 m; L1= 0,5 m; L2=0,85 m; D=3B/4)

B(in)	W _b	D	T	p _e	P _l	p _s	p _{fs}	p _t	D _{ecx}	p _{tmax}
16	6,4	0,305	107	50,3	12	38,7	216	317	0,53	349,4
20	8,0	0,381	167	50,4	18,7	60,4	333	462	0,66	512,8
24	9,6	0,457	241	50,43	27,0	87	476	640	0,79	712,4
30	13,5	0,571	376	50,7	42,1	136	738	967	1,00	1080
36	16,2	0.686	542	50,8	60,6	196	1060	1367	1,20	1529
42	21,0	0.807	737	51,1	82,5	266	1437	1839	1,40	2060
48	24,0	0,914	963	51,3	107	347	1877	2384	1,60	2672

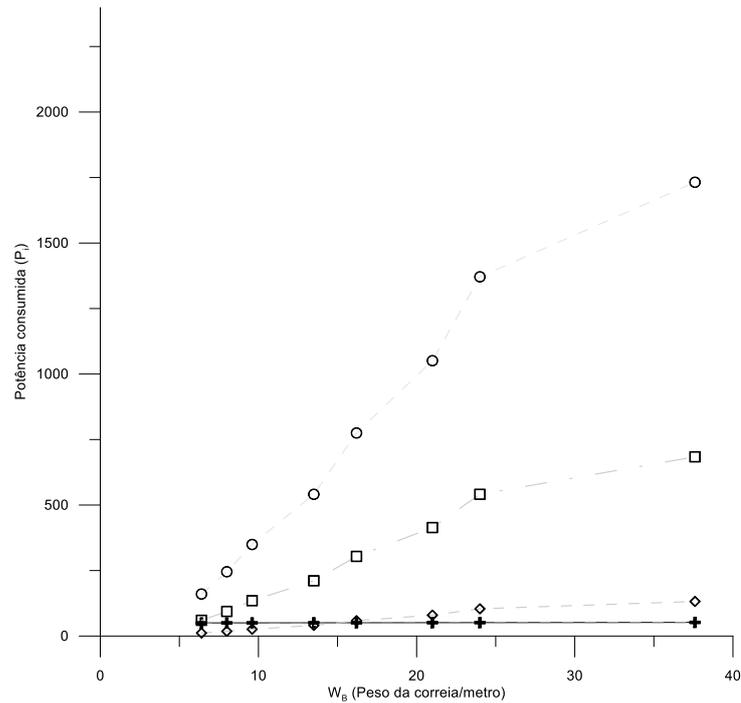
54	37,6	1,030	1219	52,1	136	440	2373	3002	1,80	3367
----	------	-------	------	------	-----	-----	------	------	------	------

Tabela 8 - Resultados de influência dos termos f_m e f_{sm} no consumo de energia para uma correia HDRN com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,2 m/s (D_e : 0,203 m; γ : 1,6 t / m³; $\theta=20^\circ$; $L=1,0$ m; $L_1=0,5$ m $L_2=0,85$ m)

f_m	f_{sm}	p_e	P_1	p_s	P_{fs}	p_t
0,65	0,33	51,3	11,57	60,1	10,96	133,96
	0,50	51,3	11,57	60,1	12,01	135,00
	0,60	51,3	11,57	60,1	12,62	135,67
	0,80	51,3	11,57	60,1	13,86	136,86
0,30	0,5	51,3	11,57	27,74	12,01	102,63
0,50		51,3	11,57	40,24	12,01	121,13
0,65		51,3	11,57	60,12	12,01	135,00
0,80		51,3	11,57	73,99	12,01	148,90

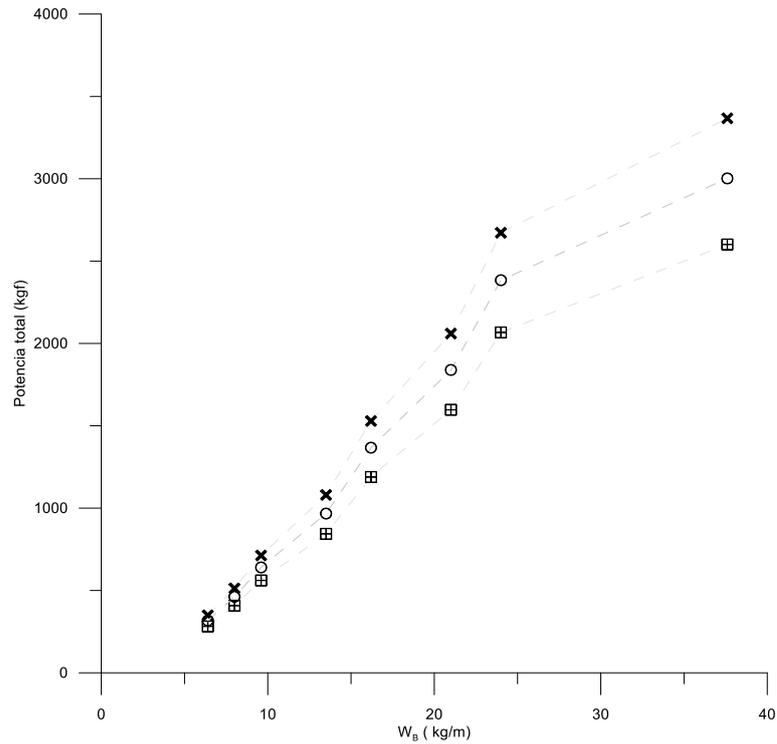
A Tabela 8 mostra a forte influência do termo f_m nos resultados de gasto de energia, o que sugere que o tipo de material influencia grandemente no trabalho do alimentador. Por outro lado, nota-se que o termo f_{sm} possui fraca influência nos resultados de gastos de energia por tensão e não carece de cuidados adicionais quando do processamento de novos materiais empregando-se o mesmo alimentador.

Figura 3- Contribuição de cada termo de potência consumida na potência total gasta para funcionamento do alimentador de correias HDRN (θ : 10°; $D= B/2$) ($\times p_e$; ωp_1 ; $\mathbb{P} p_s$; $\square p_{fs}$)



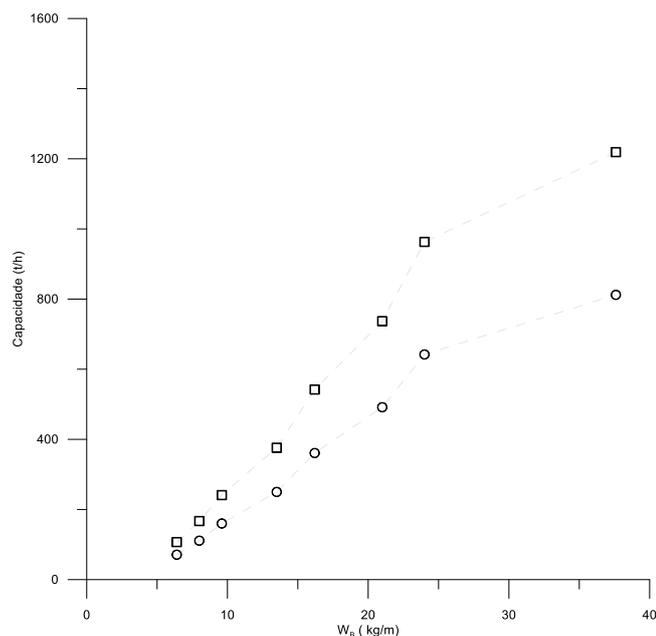
A figura 3 mostra a influência de cada contribuição de gasto de energia na potência total consumida em um alimentador HDRN em função do modelo de correia empregado. Nota-se que os termos p_e e p_l permanecem praticamente constantes mesmo com um aumento substancial do peso da correia. Dessa forma, parece que a medida que se trabalha com correias mais pesadas esses termos provocam pouca influência no gasto energético total se comparado às correias mais leves. Por outro lado, os termos que envolvem a tensão para movimentar o material e a tensão devida ao atrito nas guias laterais, p_s e p_{fs} , são os que mais oneram o gasto de energia da correia.

Figura 4 - Potência total consumida em função do modelo de alimentador de correias HDRN para duas alturas de material. ($\theta: 10^\circ$; $De = \frac{B}{2}$; $\square: 3B/4$; $\oplus: P_{tmax}$)



Um mesmo modelo de alimentador HDRN deve consumir mais energia quando estiver carregado com uma altura maior de material. Isso se torna mais acentuado a medida que o peso da correia aumenta. Para correias mais leves, nota-se que a mesma parece trabalhar muito próximo do consumo máximo de energia, independente da altura de material sobre a correia.

Figura 5 – Capacidade do alimentador de correia HDRN em função do modelo ou peso da correia por metro para duas alturas de material. (θ : 10° ; $De = \frac{3}{4}B$; $\frac{3}{4}B$)



A Figura 5 mostra que à medida que aumenta o peso da correia, o efeito da altura do material na capacidade do alimentador é maior. Observa-se que o crescimento tem uma tendência linear até o peso de correia de 25 t/m tornando-se curvo após esse valor.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É bem conhecido e claro para os profissionais de Engenharia e exatas em geral que para que um equipamento desempenhe seu trabalho da melhor forma possível seu dimensionamento e projeto possuem papel fundamental em sua operacionalidade (COSTA; JUNIOR, 2021).

O trabalho de SANTIAGO (2000) e colaboradores proporcionaram de forma teórica e prática o dimensionamento mínimo exigido de um sistema de acionamento de um transportador de correia de grande porte com capacidade de transporte de minério de 693,5 toneladas por hora. A metodologia utilizada atendeu assertivamente a potência exigida com segurança para o estudo de caso em questão, servido como referência para projetos similares. Para tanto, um programa foi elaborado para realização do trabalho o que proporcionou maior agilidade e redução da probabilidade de cometer erro nos cálculos. Podendo ser utilizado facilmente para diversos cálculos simultaneamente em outros estudos de caso.

Estudos visando obter o ponto ótimo de operação para equipamentos industriais que atuam como alimentadores de sólidos podem ser desenvolvidos usando protótipos para laboratório. Nessa linha, FREITAS *et al.* (2019) trabalharam com um alimentador para um sistema industrial de transporte pneumático, nomeado de Batchpump, conectado a uma linha

de 133m de comprimento e 3 polegadas de diâmetro, com diferença de cota de 5m. Os experimentos analisaram dados relativos ao ponto de finalização e vazão de operação. Os resultados foram apresentados relativos às variáveis de taxa de transporte e de eficiência energética. Os valores de taxa de transporte mostraram relação direta da pressão de operação com o ponto ótimo de trabalho em 1,6 bar. Os testes evidenciaram que em função da maior restrição de vazão ocorre um decréscimo na taxa de transporte. A eficiência energética mostrou um comportamento diretamente proporcional com a pressão de final de ciclo e com a restrição de vazão.

A compreensão de como o material se comporta em fluxo contínuo e a calibração e avaliação do escoamento pode ser, além de outras maneiras, feita por meio da modelagem dinâmica em escala de chutes de transferência, a qual é obtida através de análise dimensional e utiliza o Número de Froude como base de dimensionamento (DONECKER, 2011). Dessa forma, SANTOS *et al.* (2017) desenvolveram um laboratório de transportadores de correia para análise de chutes de transferência em escala, obedecendo as leis de similaridade, para investigar o fluxo de materiais granulares como uma fonte de informação para projetos industriais.

Um exemplo interessante é o trabalho de FARIA *et al.* (2021), que em recente revisão, concluíram que há condições para um aumento no reaproveitamento de rejeitos de minério no Brasil devido a fatores técnicos e a fatores econômicos, ou seja, o desenvolvimento de novos equipamentos pode contribuir e muito na sustentabilidade da empresa.

Entre estes estão os alimentadores de material, tais como o de sapatas, de correias, Table Feeder, esses são equipamentos vastamente aplicados com sucesso em plantas de mineração, sinterização e pelletização (COSTA: JUNIOR, 2021).

Comparado ao Table Feeder, o Alimentador de Correia é mais frágil e requer mais cuidados com o material manuseado. Matacos ou grãos maiores de minério podem danificar a correia transportadora com maior facilidade do que causar danos ao Table Feeder. Caso haja contenção de matacos a vida útil da correia transportadora será ainda maior. Ambos os equipamentos possuem excelente eficiência quando bem operados enquanto possuem bons padrões de manutenção que são executados de maneira adequada (COSTA: JUNIOR, 2021, p.3).

O estudo dos autores LIMA *et al.* (2016) apresentou uma solução de problema de substituição e que foi selecionado o alimentador de Correia devido ao seu custo bastante inferior a um novo Table Feeder, por se tratar de um equipamento mais simples, a manutenção também é mais simples, podemos se utilizar dos mesmos padrões de inspeção em transportadores de Correia.

Ainda de acordo com os autores, a efetividade do trabalho se resume basicamente no projeto de um equipamento bem dimensionado, que desempenha bem a sua função e que permite que a equipe de manutenção possa lidar com o mesmo de forma simples e objetiva, uma vez que todo projeto do alimentador de Correia e as modificações na balança dosadora levaram em consideração algumas premissas de componentes robustos, de maior vida útil e normalmente aplicados em outros equipamentos (COSTA: JUNIOR, 2021).

CARVALHO (2015), apresentou em sua pesquisa que os transportadores de correia de alta velocidade (High Speed), proposto pela Chemtech demonstrou aspectos da economia em termos de custos de implantação e operação (energia), foi relatado na pesquisa que relataram que a adoção de uma maior velocidade da correia (de 4,2m/s para 6,2 m/s), além de contribuir para a redução do investimento inicial do empreendimento proporcionou um menor consumo de energia (custo de operação).

Ainda de acordo com o autor o seu trabalho está restrito aos transportadores de correia de longa distância (TCLD), e que dessa forma deve-se ter o cuidado que suas conclusões podem não se aplicar a casos mais específicos, algumas propostas adicionais podem ser verificadas no trabalho de CARVALHO (2015), tais como: para uma maior economia de Capex e Opex, nesse tipo de transportador de Correia, deverá ser exigida análise dinâmica de seu projeto antes de sua fabricação, segundo deverá também ser executada a verificação geométrica do chute de transferência através de metodologia DEM (Discreta Element Modeling).

As variáveis do projeto de um alimentador podem influenciar de maneira definitiva na sua escolha para um determinado processo, nessa pesquisa observou-se que o ângulo de repouso não influencia a capacidade de alimentação, por outro lado, ele influencia fortemente do termo de gasto de energia pfs, de forma que quanto menor o ângulo de repouso maior o valor de pfs, dobrar a largura da correia pode quadruplicar a capacidade do alimentador na mesma proporção quadruplica o gasto de energia (COSTA: JUNIOR, 2021).

Com os atuais desafios da indústria do aço, tanto no Brasil como no mundo, faz-se necessário cada vez mais produzir com grande qualidade no menor custo possível, o valor baixo da tonelada do aço no mercado externo e a capacidade de produção excedente faz com que a siderurgia se torne cada vez mais competitiva e enfrente a situação que se arrasta desde o ano de 2008 (LIMA, et al. 2016).

É importante ressaltar que para um equipamento robusto e bem apropriado para a função, a sua operacionalidade desempenhará papel fundamental (LIMA: BRITO 2016). O Table Feeder é um equipamento vastamente aplicado com sucesso em plantas de sinterização e

pelotização, mas neste caso em específico foi falho devido ao seu mal dimensionamento (LIMA, *et al.*, 2016).

Comparado ao Table Feeder, o alimentador da correia é mais frágil e requer mais cuidados com material manuseado, macacos ou grãos maiores, minérios podem danificar a correia transportadora, como é uma facilidade do que causa danos ao Table Feeder, logo para que haja contenção de macacos a vida saúde da correia transportadora será ainda maior (LIMA *et al.*, 2016).

O alimentador de Correia foi escolhido devido ao seu custo bastante inferior em relação a um novo Table Feeder, por se tratar de um equipamento mais simples, sua manutenção também é mais simples, podendo-se utilizar os mesmos padrões de inspeção em transportadores de Correia (LIMA *et al.*, 2016).

Um transportador de Correia envolve uma série de elementos que devem ser bem analisados, pois todos têm fundamental importância para o correto funcionamento do equipamento, os principais componentes são: Correia, Tambores, Acessórios, Guias Laterais, Roletes, Freios, Chute, Estrutura e Drive, composto por um motor elétrico em um sistema de transmissão redutor de velocidade para as correias de velocidades baixas (LIMA *et al.*, 2016).

A estrutura é composta por todos os elementos de sustentação que envolve um TC, tais como: apoio, torres, colunas, treliças, suportes, torre de transferência (LIMA: BRITO, 2016). A correia é tida como a parte principal do transportador, por ser o componente que estará em contato direto com material transportado e que corresponde a um valor de 30 40% do valor total do transportador, a Correia tem a sua seleção baseada nos seguintes aspectos: características do material transportado, condições de serviço, tipos de roletes, tensão máxima, tempo de percurso completo e temperatura do material (LIMA *et al.*, 2016).

Uma correia transportadora é constituída basicamente de dois elementos: carcaça e coberturas, sendo que cada parte é especificada para o tipo de transporte solicitado, a carcaça é o elemento de força da correia, pois dela depende a resistência para suportar a carga resistência para suportar as tensões reflexões e todas severidade a qual é submetido a correia na movimentação da carga, as fibras têxteis são os elementos mais comumente usados na fabricação dos tecidos integrantes das carcaças, porém elas também podem ser construídas por cabos de aço (LIMA *et al.*, 2016).

As coberturas das correias são designados para proteger a carcaça contra o ataque do material transportado, as correias podem ter suas coberturas lisas ou não lisas, as correias com coberturas atendem ao transporte do material em plano horizontal e podem também operar em plano inclinado, contanto que não trapaceie os ângulos especificados pelos fabricantes, as

correias com cobertura não lisa são utilizadas no transporte de produtos e inclinações que podem atingir até 45°, o motivo pelo qual são fabricados em vários relevos (LIMA *et al.*, 2016).

O Brasil possui uma das maiores reservas minerais do mundo, sendo um dos principais produtores e exportadores de minério de ferro. Nesse contexto, a Vale é a maior produtora mundial de minério de ferro e pelotas, matérias primas essenciais para a fabricação do aço (TAVARES: FARIA, 2016). Desse modo, tecnologias que permitam melhorar as atividades relacionadas a extração, transporte e/ou venda de minérios e de grande interesse no cenário nacional (TAVARES: FARIA, 2016).

SILVA *et al.* (2020), descrevem que as correias transportadoras ou fitas transportadoras são equipamentos projetados para movimentar produtos no sentido horizontal, contudo operam com inclinações de 12° e 15°, tais equipamentos são compostos por uma Correia esticada entre os tambores e moltores e de retorno, apoiada sobre roletes junto ou tambor motriz (um motor elétrico), acoplado por meio de correias no sistema mecânico, com objetivo de esticar a correia.

As correias transportadoras oferecem diferentes configurações: são denominadas simples, quando conduzem o produto em um único sentido; reversíveis, quando transportam material em dois sentidos; duplas que conduzem o produto em dois sentidos ao mesmo tempo e por fim blindada, quando há uma caixa metálica envolta da correia (SANTOS *et al.*, 2019).

A detecção automática da aglomeração de resíduos usando IA, podem auxiliar no processo de inspeção dos TC ao diminuir o tempo de operação, ajudando na tomada de decisão dos setores de manutenção, os primeiros resultados preliminares de aglutinantes e, por meio de RNC, são positivos (SANTOS *et al.*, 2019).

As correias transportadoras são usadas em diversos processos que exigem transporte eficiente. Grandes companhias mineradoras utilizam as correias como uma boa alternativa para transportar material em longas distâncias de forma eficaz e produtiva, otimizando assim os processos. Uma correia transportadora é composta basicamente de roletes, motores, acionadores e uma correia (OLIVEIRA, 2019).

Os roletes são responsáveis por movimentar as correias. O bom funcionamento desses elementos, em geral, é de suma importância para que o sistema funcione. Uma correia possui muitas características e diversas variáveis não são monitoradas com o devido cuidado, além disso, vale destacar a vida útil e a resistência dos roletes que a compõe. Quando algum rolete trava e a correia continua rodando gera-se desgaste em ambos os itens (OLIVEIRA, 2019).

A Vale aposta no sistema de transporte de material por correias entre as suas instalações como forma de reduzir custos e minimizar o impacto ambiental. Mas paradas não programas e

falhas inesperadas, além de grandes transtornos na cadeia produtiva, geram alto custo de manutenção (OLIVEIRA, 2019).

Vários são os defeitos que podem ocasionar na falha ou parada parcial do rolete. Sem nenhum instrumento específico para a tarefa de inspeção, os inspetores são expostos a esforços físicos (comprimento extenso das correias) e a ruídos provenientes do processo de beneficiamento do minério. Então, faz-se necessário um sistema eficaz que monitore e detecte todas as possíveis falhas do processo para que haja uma maior confiabilidade nas operações e a diminuição de inspeções e manutenções (OLIVEIRA, 2019).

As falhas mais recorrentes em roletes e na correia são os campos de pesquisa mais explorados, seja na aplicação de manipuladores robóticos, uso de veículos não tripulados ou do aprendizado de máquinas por meio de análise de imagens. A pesquisa foi pautada em trabalhos que principalmente estavam sendo desenvolvidos em ambientes onde o teste em campo era possível e que apresentaram bons resultados (OLIVEIRA, 2019).

Mesmo com o avanço da tecnologia, no campo de processamento de imagens, aprendizado de máquinas, dispositivos robóticos, o monitoramento por meio de sensores fixos e uma instrumentação individualizada em cada componente ainda não é uma realidade viável por não se ter estudos concretos da utilização de tais instrumentos em ambientes adversos como a mineração, porém, há um vasto leque de opções para se desenvolver dispositivos a partir de desenvolvimento de novas tecnologias que envolvam a internet das coisas (OLIVEIRA, 2019). Agora abordaremos um pouco sobre o consumo de energia em sistemas agroindustriais.

3.1 CONSUMO DE ENERGIA EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS

O clima e a extensa área de terra cultivável favorecem a produção diversificada de produtos no país. O desenvolvimento tecnológico significativo favorece o setor do agronegócio, que cresce expressivamente no Brasil (BARONI *et al.*, 2017).

MONTOYA *et al.* (2016) descrevem que em alguns setores da agroindústria está ocorrendo um aumento substancial no consumo de energia, em particular na matriz que utiliza formas intensas de recursos energéticos. GASQUES *et al.* (2016) afirmam que o investimento de recursos associado ao aumento do uso de máquinas agrícolas, tem sido um dos fatores fundamentais inerentes à crescente produtividade agrícola no Brasil.

O uso de motores elétricos e o acesso às informações foram favorecidos com a chegada da eletricidade. O campo se industrializou e se modernizou, implicando em uma melhora substancial na produtividade. Logo, as propriedades rurais, e sobretudo o que elas produzem,

passaram a ser um item de interesse no ambiente da economia das indústrias produtoras de bens e serviços para agricultura, ficando conhecido como agronegócio (MONTROYA *et al.*, 2016). Em termos de quantidade de energia, a agricultura brasileira consome em torno de 12 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (MONTROYA *et al.*, 2016).

A Agência de Energia Elétrica – ANEEL, aponta que o fator de conversão teórico entre tep (toneladas equivalentes de petróleo) e MWh (Megawatt-hora), considerando a primeira lei da termodinâmica, é de 0,086 tep/MWh. Portanto, a título de comparação, a energia utilizada pela agricultura no Brasil em 2017 foi equivalente a 96,5 milhões de MWh (Figura 1), ou seja, mais do que a energia gerada no ano de 2018 (103 milhões de MWh) pela segunda maior hidrelétrica do mundo, Usina Hidrelétrica de Itaipu. Essa usina é responsável por fornecer 20% de toda a energia elétrica consumida em nosso país (MONTROYA *et al.*, 2016).

OPARAOCHA E DUTTA (2011) ressaltam que a disponibilidade de energia elétrica é fundamental na agricultura, tanto para o beneficiamento de grãos na pós colheita quanto para o armazenamento, o processamento e a industrialização de grãos.

DA SILVA (2006) afirma que a automação de unidades armazenadoras fazem destas, grandes consumidoras de energia elétrica. Ainda que se utilize a entalpia do ar como fonte de energia para a secagem, há que se considerar o custo da energia elétrica para o acionamento dos ventiladores. Dessa forma, dependendo do número de secadores e quantidade de produto a serem secos, representa um custo considerável no processo. Assim sendo, faz-se necessário que o mapeamento e a eliminação dos pontos de desperdício, sejam uma prática rotineira a ser executada nos equipamentos elétricos (DALPASQUALE. SPERANDIO, 2010).

3.2 CORREIAS TRANSPORTADORAS

SANTOS E MALAGONI (2014) descrevem que correias transportadoras ou fitas transportadoras são equipamentos projetados para movimentar produtos no sentido horizontal. Contudo, operam com inclinação de 12° e 15° (VANAMANE *et al.*, 2011). Tais equipamentos são compostos por uma correia esticada entre os tambores motriz e de retorno, apoiadas sobre roletes. Junto ao tambor motriz monta-se um motor elétrico, acoplado por meio de correias ao sistema mecânico, com o objetivo de esticar a correia.

As correias transportadoras oferecem diferentes configurações: são denominadas simples, quando conduzem o produto em um único sentido; reversíveis, quando transportam

material em dois sentidos; duplas que conduzem o produto em dois sentidos ao mesmo tempo e por fim blindada, quando há uma caixa metálica envolta da correia (VANAMANE *et al.*, 2011).

3.3 A TECNOLOGIA DOS TRANSPORTADORES DE CORREIA DE LONGA DISTÂNCIA (TCLD)

A tecnologia dos transportadores de correia apresenta melhores soluções para o transporte de granéis sólidos em longas distâncias, sendo ideais para terrenos acidentados e de difícil acesso, pois superam vales profundos com facilidade. Possuem características exclusivas que possibilitam desenvolver curvas verticais e horizontais inigualáveis, minimizando investimentos e reduzindo as necessidades de terraplanagem e desmatamento (NORDELL, 1999).

Um transportador de correia (TC) tem como componentes principais as correias, os roletes o tambor da tração da correia e um conjunto de acionamento composto por um motor elétrico e um sistema de transmissão, que é um redutor de velocidade (para as correias, têm-se velocidades baixas, com cerca de 1, 2 e 4 m/s) (NORDELL, 1999).

A correia, em geral, é o componente que requer a maior atenção na fase de projetos, não só por sua importância na composição do custo inicial do equipamento, mas também porque o seu dimensionamento influi na seleção dos demais componentes (NORDELL, 1999). Como exemplo, pode-se citar o transportador da mina de Curragh, construído em 2007 na Austrália, cuja velocidade máxima é “prevista para 7,5 m/s” (NORDELL, 1999) e o transportador MRC Cable Belt da Metso, com design único, ideal para transportes a longa distância que exijam curvas verticais e horizontais, é apresentada na FIG. 3. Esse atravessa montanhas e vales nas montanhas Appalachian, em West Virginia (NORDELL, 1999), levando carvão da mina até uma estação de carregamento de trem, com um comprimento total de “cerca de 6,4 km com uma elevação de 160 metros”.

A tecnologia dos transportadores de correia apresenta melhores soluções para o transporte de granéis sólidos em longas distâncias, sendo ideais para terrenos acidentados e de difícil acesso, pois superam vales profundos com facilidade. Possuem características exclusivas que possibilitam desenvolver curvas verticais e horizontais inigualáveis, minimizando investimentos e reduzindo as necessidades de terraplanagem e desmatamento. (NORDELL, 1999).

Um transportador de correia (TC) tem como componentes principais as correia, os roletes o tambor da tração da correia e um conjunto de acionamento composto por um motor elétrico e um sistema de transmissão, que é um redutor de velocidade (para as correias, têm-se velocidades baixas, com cerca de 1, 2 e 4 m/s) (NORDELL, 1999). A correia, em geral, é o componente que requer a maior atenção na fase de projetos, não só por sua importância na composição do custo inicial do equipamento, mas também porque o seu dimensionamento influi na seleção dos demais componentes (NORDELL, 1999). Como exemplo, pode-se citar o transportador da mina de Curragh, construído em 2007 na Austrália, cuja velocidade máxima é “prevista para 7,5 m/s” (NORDELL, 1999) e o transportador MRC Cable Belt da Metso, com design único, ideal para transportes a longa distância que exijam curvas verticais e horizontais.

Esse atravessa montanhas e vales nas montanhas Appalachian, em West Virginia (METSO, 2012, p. 1), levando carvão da mina até uma estação de carregamento de trem, com um comprimento total de “cerca de 6,4 km com uma elevação de 160 metros”.

Os custos de instalação e trabalho civil, que são características importantes de grandes transportadores, são reduzidos, o que também é constatado pela habilidade de fazer curvas de pequeno raio nesse tipo de transportador. Também é importante ressaltar que rotas que necessitariam de múltiplos transportadores convencionais podem ser feitas por um único transportador MRC, ou seja, as transferências múltiplas são eliminadas, reduzindo a degradação do material, a manutenção e até o consumo de energia (METSO, 2012).

Uma das preocupações das mineradoras é a preservação ambiental e do patrimônio histórico brasileiro e por isso aumentar o fluxo de cargas com responsabilidade pode ser viável a partir da implantação do tipo de transporte em estudo. Para tanto, o desafio foi à substituição do sistema cremalheira, que só pode transportar quatro vagões ou 500 toneladas por viagem, o que é pouco para uma ferrovia e insuficiente para as necessidades do transporte. O projeto do TCLD não altera a paisagem e o patrimônio histórico de uma região por passar por um túnel exclusivo para a correia, não provocando desmatamentos ou interferência em áreas ambientais (METSO, 2012).

Por fluir suspensa numa estrutura metálica, permite o livre deslocamento de pequenos animais. A correia também é a melhor alternativa segura quanto à emissão de poeiras, baixos níveis de ruído e adaptabilidade de executar um sistema de transporte que se adapte facilmente a curvas horizontais ou verticais, adaptando-se ao terreno e ao traçado do percurso (METSO, 2012).

A Tecnologia conhecida: o sistema a ser adotado pela MRS Logística, o TCLD é uma alternativa de transporte largamente utilizada no Brasil e no mundo, com excelentes resultados

em termos de sua eficiência e efeitos positivos, como a eliminação de transporte por veículos pesados e a conseqüente redução de acidentes (METSO, 2012).

É uma tecnologia utilizada há mais de 20 anos para o transporte de minério de ferro, carvão, calcário bruto, bauxita e outros granéis, em países como o Brasil (notadamente no Quadrilátero Ferrífero, MG), EUA, Inglaterra, Canadá, África do Sul, Austrália, entre outros (METSO, 2012).

Segurança: O TCLD é a tecnologia que apresenta o menor risco de derramamento de conteúdo. Ao longo do percurso, sensores a cada 100 metros acusarão o mínimo desvio da esteira e darão o alerta via fibra ótica (METSO, 2012). Adaptabilidade: O sistema executa facilmente curvas horizontais ou verticais, adaptando-se ao terreno e ao traçado já existentes, sendo o mais adequado à região da Serra do Mar (METSO, 2012).

Menor impacto: A emissão de poeiras será controlada por eficientes sistemas projetados para o transbordo do material. (METSO, 2012). O sistema possui baixos níveis de ruído, sem provocar interferências com a população de Paranapiacaba e Cubatão ou com a fauna da Serra do Mar que é o exemplo do projeto da MRS Logística (METSO, 2012).

Na produção mineral, na fabricação de cimento e em outras indústrias, o transporte dos produtos a granel é objeto de grande atenção, por sua influência nos custos de operação e manutenção e as preocupações com segurança e meio ambiente (METSO, 2012). É por isso que esse autor defende as correias transportadoras como um “meio de transporte adequado para uma ampla variedade de aplicações, por sua segurança, confiabilidade e baixos custos relativos de implantação e operação”. Ainda acrescenta que, por ser o transporte de materiais granulados a longas distâncias entre as plantas de beneficiamento e os pontos de embarque, como portos e estações de despacho ferroviário, ou mesmo entre unidades da mesma linha de produção a serem bastante comuns, alguns aspectos são relevantes nesse tipo tecnologia para a questão ambiental. Em primeiro lugar a escolha de correias pode minimizar gastos de energia elétrica de forma considerável (METSO, 2012).

Em suas palavras:

O emprego de correias de baixa resistência ao rolamento representa considerável economia na demanda de energia, possibilitando a redução dos motores a instalar, com a conseqüente redução das tensões máximas de correia a serem suportadas pelo equipamento. Tudo isso significa considerável economia na implantação e na operação do sistema de transporte, mantendo-se ou até aumentando a sua disponibilidade e margem de segurança operacional (CALIJORNE, 2012, p. 1).

Em segundo lugar, as estruturas do TCLD colaboram para a transposição de obstáculos, ou seja: aspectos ambientais que não são destruídos quando da implantação de uma ferrovia (CALIJORNE, 2012). Ao vencer longas distâncias, devem ser evitadas, na medida do possível, as transferências de material, quer dizer, os transportadores, caso possível, devem fazer curvas horizontais para evitar casas de transferência. Os transportadores de longa distância devem acompanhar ao máximo a topografia do terreno, para evitar estruturas elevadas e fundações caras (CALIJORNE, 2012).

No caso de estruturas elevadas, deve ser selecionado o vão ideal, que venha proporcionar maior economia (CALIJORNE, 2012). A determinação do vão ideal, ou distância entre colunas, depende da altura necessária para as mesmas (CALIJORNE, 2012). E o uso de túneis deve ser considerado na transposição de obstáculos, como áreas habitadas ou mesmo matas e reservas ambientais, pois muitas vezes essa solução pode ser benéfica, tanto econômica quanto ambientalmente (CALIJORNE, 2012).

Todo esse processo é ilustrado na pesquisa de Vieira (2012), através da apresentação de uma empresa, empresa está de capital aberto, com ações negociadas nas Bolsas de Valores de São Paulo (CHRISTOPHER,2007) e de Nova Iorque (NYSE), e com mais de vinte mil colaboradores, a CSN é uma empresa altamente integrada, com negócios em siderurgia, mineração, cimento, logística e energia.

A Companhia atua em toda a cadeia produtiva do aço, desde a extração do minério de ferro, até a produção e comercialização de uma diversificada linha de produtos siderúrgicos de alto valor agregado, incluindo aços planos revestidos galvanizados e folhas metálicas (VIEIRA, 2012). O sistema integrado de produção, aliado à qualidade de gestão, faz com que a CSN tenha um dos mais baixos custos de produção da siderurgia mundial (VIEIRA, 2012).

A partir de 2007, a CSN, com sua controlada em conjunto NAMISA, passou a comercializar minério de ferro no mercado transoceânico (VIEIRA, 2012). A CSN administra, ainda, dois terminais portuários em Itaguaí (RJ), o Tecar, por onde é embarcado o minério de ferro para o mercado transoceânico, e o terminal de contêineres, Sepetiba Tecon (VIEIRA, 2012). Com a expansão da mina de Casa de Pedra, a CSN vem firmando sua posição como um importante player no mercado de minério de ferro, sendo, em conjunto com a NAMISA, o segundo maior produtor nacional (VIEIRA, 2012).

A mina própria de Casa de Pedra, com reservas provadas e prováveis de mais de 1,6 bilhão de toneladas, fica localizada no município de Congonhas, em Minas Gerais, e abastece a CSN com minério de ferro de alta qualidade, tão necessário à produção siderúrgica. A CSN vem implantando projetos de expansão na mina de Casa de Pedra e na NAMISA, de modo a

atingir uma capacidade total anual de 89 milhões de toneladas de minério de ferro (VIEIRA, 2012).

A capacidade de produção da mina de Casa de Pedra atingirá 50 milhões de toneladas anuais, enquanto na NAMISA os projetos de concentração e pelotização completarão a capacidade total. A eficiência logística é fator determinante para o bom desempenho econômico-financeiro das atividades da Companhia, principalmente mineração e 32 siderurgia. A CSN administra dois terminais no Porto de Itaguaí, no Rio de Janeiro: o terminal de granéis sólidos (Tecar) e o terminal de contêineres (Sepetiba Tecon) (VIEIRA, 2012).

O Tecar, terminal de granéis sólidos, por onde é embarcado o minério de ferro para o mercado transoceânico, fica localizado no Porto de Itaguaí. A CSN vem trabalhando na expansão desse terminal, visando atingir uma capacidade de embarque de 84 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (VIEIRA, 2012).

O Sepetiba Tecon é um porto concentrador de cargas (hub port), sendo o maior terminal de contêineres do Rio de Janeiro e um dos maiores do Brasil em seu segmento. Para a expansão do Sepetiba Tecon estão previstos investimentos em infraestrutura, com a aquisição de novos equipamentos e a equalização do berço 301 (VIEIRA, 2012).

A CSN tem participação em duas companhias ferroviárias: a MRS Logística e a Transnordestina Logística S.A. A MRS Logística (MRS) opera a antiga Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), no eixo RJ-SP-BH e a CSN possui, direta e indiretamente, 33,27% de seu capital votante (VIEIRA, 2012).

O principal segmento de atuação da MRS é o de clientes chamados heavy haul (cargas de minério, carvão e coque). Em 2006, a Transnordestina S.A. foi incorporada pela Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN) e foi posteriormente denominada Transnordestina Logística S.A. (TLSA). A Transnordestina Logística S.A. (TLSA) é operadora da antiga malha nordeste da RFFSA, percorrendo sete estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, com extensão total de 4.534 km (VIEIRA, 2012).

O contrato de concessão da TLSA foi assinado em 1997, com duração de 30 anos, podendo ser prorrogado por igual período. A participação da CSN no capital social da TLSA ao final de 2011 atingiu 70,91%. A TLSA, com o apoio do governo federal, está construindo a ferrovia Nova Transnordestina, com extensão de 1.728 km, que interligará o terminal ferroviário em Eliseu Martins (PI) aos portos de Pecém (CE) e de Suape (PE) (VIEIRA, 2012).

3.3 O TRANSPORTADOR DE CORREIA TCLD COMO ESTRATÉGIA NA MINERADORA

O transportador de correia TCLD é um equipamento que foi projetado e instalado para atender a ampliação da capacidade da Mineração de 21MTPA para 53 MTPA (Milhões de Toneladas Por Ano) e destina-se ao transporte de sinter e granulado, desde o pátio de produtos, próximo ao pátio de homogenização de minério, até os pátios de embarque para o sistema de carregamento de vagões (VIEIRA, 2012).

Conforme esses dados pode-se perceber o sentido principal da logística visto na literatura, como uma competência-chave que pode ser desenvolvida como estratégia central, sendo a tecnologia em estudo uma vantagem competitiva que vem trazendo agilidade ao desempenho no transporte de minério (BOWERSOX; CLOSS, 2007).

O transportador TCLD foi calculado pela Tecnometal e por duas das mais consagradas empresas que atualmente executam cálculos dinâmicos em correias transportadoras no mundo: a Helix Technologies, e a Scientific Solutions. Devido às suas particularidades, tais como capacidade de transporte, locação e arranjo dos acionamentos e topografia do relevo local, o projeto desse TCLD, exigiu vários estudos específicos (VIEIRA, 2012).

O transportador TCLD tem um comprimento de 3208,4m (distância entre tambores extremos) e um desnível de -196,22m, desde o nível no ponto de carregamento (na cauda) até o nível no ponto de descarregamento (na cabeça). Foi instalado em um terreno com a topografia muito acidentada (VIEIRA, 2012).

Ao longo destes 3.200m, foram construídas cinco pontes, tendo a mais longa delas uma extensão de aproximadamente 500m. O perfil do transportador tem trechos com inclinações significantes e desnível tal que torna o sistema de caráter regenerativo, em determinadas condições e capacidades de carregamento, tendo como consequência a geração de energia elétrica pelos motores dos acionamentos, que quando estão exercendo a frenagem do TCLD, esta energia elétrica gerada retorna para o sistema elétrico da Mineradora, que, durante essa geração, deixa de comprar da concessionária de energia elétrica, a energia proporcional à gerada (VIEIRA, 2012).

O TCLD tem a capacidade de transportar de 4.000 T/h de minério em regime de funcionamento contínuo, 24 horas por dia e, em um dia, transporta 96.000 toneladas de minério. Considerando a capacidades de transporte de minério por caminhão como 15 toneladas, teríamos que ter 6.400 viagens/dia de caminhão para transportar o mesmo volume de minério correspondente ao que é transportado pelo TCLD (VIEIRA, 2012).

A previsão é de que o investimento na construção do TCLD se pague em um ano de funcionamento deste, com plena carga. Ecologicamente, o projeto TCLD é muito vantajoso,

porque é um equipamento que não polui o meio ambiente, gera energia elétrica e elimina a realização de 6.400 viagens/dia de caminhões de minério movidos a diesel e o uso das retroescavadeiras, também movidas a diesel, usadas para fazer os carregamentos dos caminhões. Esse dado está de acordo com as observações do autor Fontana Neto (2012), que vê esse tipo de transporte como uma boa alternativa para não emitir poeiras e possibilitar baixos níveis de ruído (VIEIRA, 2012).

Para a definição para a escolha do TCLD foram levados em consideração alguns pontos importantes: o tipo de perfil do terreno, o menor custo operacional, a tecnologia já implantada e com bons resultados em outras empresas, o sistema regenerativo (gerar energia para ser usada em outros equipamentos), a boa disponibilidade física para a operação e a facilidade de manutenção (VIEIRA, 2012).

Em relação ao questionamento de se comparar os modais disponíveis para o transporte de minério em relação ao TCDL, que é a atual escolha da mineradora, pode-se registrar que já existe um contrato da GPA referente à movimentação do produto com caminhões médios, uma vez que a malha da MRS atende à CSN para escoamento de produção para porto e usina em Volta Redonda. Os gestores acreditam que essa estratégia seria interessante para a economia do processo, porque seria uma forma de introduzir uma malha férrea dentro da mineração para fazer o serviço que o TCLD faz. Mas, cálculos ainda não são palpáveis, pois a ideia está sendo estudada e o levantamento dos custos de operação da linha férrea e o custo com o investimento ainda está sendo realizado (VIEIRA, 2012).

Quando o transporte de caminhão se faz necessário, no caso da Casa de Pedra, (para substituição de correias), isso acontece devido às paradas da correia para manutenção, à taxa de produção da classificação ser maior que a capacidade 35 de transporte da correia (antes da liberação da TCLD) e ao fato de que, também, no transporte de produtos da classificação para estoques não operacionais, quando a produção de minério é maior que o carregamento de trens e de estoque não operacionais para carregamento, quando a produção de minério é menor que o carregamento é maior que o de trens (VIEIRA, 2012).

No momento, após o início de operação da TCLD, o transporte realizado por caminhões é utilizado para aumento de produção de minério não beneficiado dispostos em locais onde não há opção da correia e, também, para transporte de minério para correção de qualidade (manganês e fino silicoso) (VIEIRA, 2012).

Em relação aos custos do processo logístico, em Casa de Pedra, o transporte é pago de acordo com a DMT (distância média de transporte). No caso do transporte das correias (Cable Belt e TCLD), é substituído por caminhões na DMT de 8km, no valor aproximado de R\$ 8,55

por tonelada. Cada caminhão transporta 26 toneladas por viagem e as realiza em aproximadamente 40 minutos, cada (VIEIRA, 2012).

Para verificar os aspectos de redução de custo há a questão dos os valores do contrato da GPA e sua aplicabilidade (caminhões) versus o custo de manutenção do TCLD (salários dos mecânicos + materiais empregados na manutenção, etc.), para ver qual tem o melhor custo (VIEIRA, 2012).

Os gestores acreditam que, utilizando a comparação após o referido levantamento, ficará mais fácil explicar a utilização do TCLD. Daí a melhoria no custo da armazenagem, ou seja, o quanto de material é perdido na forma de estocagem com caminhões e na forma de estocagem com TCLD poderá realmente ser avaliado e, portanto, a empresa poderá eleger outro tipo de modal ou escolher somente o TCLD, comparando-se com os caminhões porque é o modal disponível hoje na mina para a base de comparação (VIEIRA, 2012).

A instalação de um transportador convencional ao lado e ao longo de outro existente (cable belt) favoreceu a sua construção, porque passou pelos obstáculos sem a necessidade de modificação do terreno original ou de remoção de interferências, trazendo economia em serviços de terraplanagem, escavação e acessos diversos.

Notam-se os comentários do autor FLEURY (2012) nesse resultado, que assevera que, para a administração do transporte, as decisões estratégicas e as decisões operacionais precisam ser tomadas pelas empresas com impactos de longo prazo, referindo-se, basicamente, a aspectos estruturais.

Ainda, o autor BALLOU (2007) comenta a estratégia de transporte como uma participação ativa e constante no processo de produção e distribuição, para que tenha um peso significativo na composição do custo dos bens finais, sendo por tal razão que o setor de transportes de carga requer uma administração que procure alcançar a equalização das variáveis: baixo custo, segurança, agilidade e flexibilidade.

Devido à diferença de nível entre a carga e a descarga e à inércia da carga em movimento, o TCLD é regenerativo, ou seja, gera energia ao invés de consumir. Custos de implantação. Estima-se que o custo de implantação de um transportador de correia convencional é 1/3 do custo de instalação de outras tecnologias (VIEIRA, 2012).

Esses relatos estão de acordo com as observações do autor CALLIJORNE (2012), quando afirma que os custos de instalação e trabalho civil são reduzidos, principalmente porque na implantação do Transportador MRC é constatada a habilidade de fazer curvas de pequeno raio, as rotas se tornam únicas, com transferências múltiplas eliminadas, reduzindo a degradação do material, a necessidade de manutenção e até o consumo de energia.

3.4 FLUXO DO SISTEMA DE TRANSPORTE DA MINERADORA

As escavadeiras, por exemplo, têm mobilidade, velocidade, potência e confiabilidade para trabalhar estacionadas, sem, contudo, participar do ciclo de trabalho. Podem ser montadas sobre esteiras, sobre pneumáticos e sobre trilhos, mas na CSN são montadas sobre esteiras. Pelo fato de o carregamento ser uma das principais atividades na mineração, requerem um projeto bem elaborado e o planejamento é, conseqüentemente, flexível para atender à produtividade e à eficiência dos equipamentos (VIEIRA, 2012).

Os serviços de alugueis e manutenção desses equipamentos são terceirizados. Em relação ao TCLD, a oportunidade de acessar o mercado transoceânico de minério de ferro faz desse modal a conjugação de menores custos a partir da rota do transporte de minério de ferro do quadrilátero ferrífero, localizado em Minas Gerais. Conjugado à malha ferroviária da MRS, confere-se ao TCLD a quantidade e a qualidade do transporte dos ativos minerários, diante da localização e logística integrada (VIEIRA, 2012).

Mesmo que haja altos preços praticados pelo aluguel de transportes do terceirizados, menores custos garantidos pela eficiência operacional da malha ferroviária da MRS proporcionam à CSN a obtenção de maiores margens de lucro no planejamento dos transportes (VIEIRA, 2012).

Em relação aos tipos e à capacidade do modal utilizado para o transporte de minério, a empresa conta com a atuação contínua e sistêmica da Gestão de Contratos que contribui para o alcance dos seguintes resultados de fácil e factível percepção da melhoria de processos, redução de custo (adequação de franquias e quantidades de serviços prestados) e diminuição das fragilidades (manutenção dos diversos modais, para que a mensuração e a avaliação dos impactos benéficos dos resultados obtidos por essa gestão, no contexto organizacional, seja fortalecida pelo comprometimento dos responsáveis pelos contratos, os gestores) (VIEIRA, 2012).

Para os serviços de transporte, manutenção e umectação das vias de acesso, o transporte alugado, como escavadeiras, para o acesso de praça custa por hora R\$ 0,96 e os de transporte de materiais variam de R\$ 0,95 a R\$ 2,25 (VIEIRA, 2012).

Diante desses resultados é possível confirmar o que Ballou (2007) ressalta sobre os serviços de transportes terem uma variedade quase infinita: (1) os cinco modos podem ser usados combinadamente, (2) agentes, sindicatos e associações comissárias podem prestar serviços indiretos e (3) pode ser usado exclusivamente um único modo de transporte, devendo

o usuário selecionar o serviço ou combinação de serviços que providencie o melhor balanço entre qualidade oferecida e custo.

Dessa forma, a principal vantagem do TCLD é o manuseio de materiais a longa distância, com alta capacidade no transporte contínuo de materiais, baixo custo de operação, porque não depende de interface direta com o ser humano exceto para manutenção, trabalha 24 horas conforme o volume de produção projetada para embarque (PCP – Planejamento e Controle da Produção) e, para o meio ambiente, o TCLD é importante, porque evita a dispersão de material particulado no ambiente, ou seja, poeira (VIEIRA, 2012).

Se não existisse o TCLD, o transporte de produtos de um pátio para o outro deveria ser feito com caminhões trucados, o que aumenta o nível de poeira e abre maior precedente para acidentes do trabalho, porque envolve mão de obra transitando com veículo pesado na mina e altos custos com a manutenção da frota (VIEIRA, 2012).

Diante desses dados nota-se a multimodalidade vista em Ferreira e Ribeiro (2012), como a integração entre modais, com o uso de vários equipamentos, agregando ao serviço as vantagens de cada modal. A implantação da tecnologia do TCLD como estratégia do sistema de transporte gera inúmeros benefícios, dentre estes destacamos: os econômicos, visto que a seleção de tecnologia está no parâmetro econômico para valoração das alternativas e requer a avaliação do custo total de um ativo sobre toda a sua vida útil. Esta análise considera os custos envolvidos nas etapas de Pesquisa, Desenvolvimento, Implantação, Operação e Manutenção, Substituição e Desmobilização. As alternativas devem ser comparadas através de um modelo econômico, comum a todas elas, e considerando uma mesma base de preços e custos. Na análise, apenas as diferenças entre as alternativas são relevantes (VIEIRA, 2012).

As principais vantagens do TCLD são o manuseio de materiais a longa distância, com alta capacidade no transporte contínuo de materiais; o baixo custo de operação, porque não depende de interface direta com o ser humano, exceto para manutenção; trabalha 24 horas, conforme o volume de produção projetada para embarque (PCP – Planejamento e Controle da Produção); e, para o meio ambiente, o TCLD é importante porque evita a dispersão de material particulado no ambiente, ou seja, poeira. Se não existisse o TCLD o transporte de produtos de um pátio para outro deveria ser feito com caminhões trucados, o que aumentaria o nível de poeira e abre maiores precedentes para acidentes do trabalho, porque envolve mão de obra transitando com veículos pesados na mina, além do alto custo com a manutenção da frota (VIEIRA, 2012).

De acordo com RIBEIRO (2013), os custos operacionais de mineração têm aumentado significativamente devido a elevação dos preços do óleo diesel, pneus de caminhões de grande

porte, manutenção de equipamentos de mina e mão de obra. A competitividade do mercado global de minério de ferro tem exigido esforços das empresas no sentido de elaborar estudos que possibilitem a redução de seus custos operacionais.

A crise econômica mundial de 2009 promoveu a queda na venda e, conseqüentemente, no preço do minério de ferro nas grandes empresas de mineração, obrigando-as a paralisar as operações de lavra nas minas com alto custo operacional. As operações unitárias mineiras estão divididas em perfuração, desmonte, carregamento e transporte, sendo que o transporte de minério e estéril das minas de minério de ferro é predominantemente realizado por caminhões (RIBEIRO, 2013).

A tecnologia de correias transportadoras é usada em diversas minas no mundo, mostrando ser eficaz e com baixo custo operacional. Esta opção é aplicada ao transporte de Run Of Mine (ROM) em diferentes tipos de minerais e com distâncias de transporte variadas. Na VALE, essa prática é utilizada na mina Carajás, que possui longa distância para o transporte de minério (RIBEIRO, 2013).

A necessidade de efetuar as atividades de mineração com responsabilidade e sustentabilidade tem aumentado nas últimas décadas e a preocupação das empresas em reduzir os impactos no meio ambiente tem sido importante na elaboração de projetos de mineração (RIBEIRO, 2013).

A pesquisa do autor traz como estudo de caso a empresa VALE a demanda por correias transportadoras tem sido crescente desde a primeira correia transportadora que foi colocada em serviço a mais de 100 anos. A cada dia novos equipamentos de altíssima capacidade e com novas tecnologias surgem no mercado. São equipamentos versáteis, de grande eficiência energética, considerados ambientalmente dentro dos padrões, com o menor número de mão de obra eliminando assim o risco de acidentes de trabalho e de saúde, e com altos índices de produtividade, garantindo a redução dos custos operacionais (RIBEIRO, 2013).

Os efeitos potenciais da instalação de transportadores por correias nas operações a céu aberto, aliados a um bom planejamento de mina, podem ser significativos. Com a utilização mais eficiente de energia e custos operacionais mais baixos, os 18 transportadores de correias oferecem uma alternativa atraente (RIBEIRO, 2013).

Segundo MORRISON (2007), sistemas de transporte de correias de materiais oferecem potencial para: Reduções significativas na mão de obra da operação da mina; Redução significativa dos custos operacionais; compensar a escassez de pneus, que pode colocar em risco a continuidade das operações com caminhões.

Deve-se salientar que as instalações de transporte por correias funcionam muito bem para operações que movimentam grandes volumes de material, que precisam ser transportados de uma única fonte para um único destino. Se a operação se caracteriza por uma lavra que possui inúmeras frentes fornecedoras de minério, e diferentes destinos para o mesmo, esta não apresenta a situação ideal para a aplicação dos transportadores de correias na lavra (RIBEIRO, 2013).

O planejamento de mina deve considerar alguns pontos específicos, como a escolha e os impactos nos métodos de carregamento, se há necessidade de lavra seletiva, qual o número de bancos que devem ser trabalhados em conjunto na lavra, pois o sistema de correias é menos flexível que uma operação de transporte realizada por caminhões (ZIMMERMANN: BKRUSE, 2006).

3.4 CORREIAS TRANSPORTADORAS

De acordo com INDÚSTRIA (2009), as correias transportadoras são máquinas usadas na manipulação de materiais e são utilizadas em vários processos com a finalidade de gerar um fluxo contínuo de materiais entre diversas operações. Elas podem ser subdivididas em duas principais categorias, sendo elas: Correias Planas e; Correias Abauladas (SILVA *et al.*, 2020).

As correias transportadoras planas são utilizadas no transporte de sacas, caixas e também cargas a granel. Tais correias são formadas por uma estrutura normalmente treliçada, dois rolos com eixos e mancais, onde se apoia uma correia infinita. Normalmente, o funcionamento das correias planas é suave, apresentando metade da capacidade das correias abauladas que serão abordadas a seguir e funcionando bem a altas velocidades (SILVA, *et al.* 2020).

Conforme visto em INDÚSTRIA (2009), nestas correias transportadoras, a correia se move através de roletes que são dispostos em ângulo que a fazem ter uma forma abaulada. Dos sistemas encontrados nas indústrias, este é um dos mais econômicos para transporte de material a granel, por conta de sua alta capacidade de carga, facilidade de carregar e descarregar e, também devido a facilidade na sua manutenção. Este tipo de correia pode transportar diversos tipos de materiais, com ressalva para materiais que são muito úmidos ou pegajosos (SILVA, *et al.*, 2020).

As correias transportadoras são formadas por elementos de máquinas, tais como mancais e polias, eixos, acoplamentos e motores elétricos, que, em conjunto, são responsáveis por garantir seu funcionamento com a confiabilidade necessária (INDÚSTRIA, 2009).

De forma geral, as correias apresentam os seguintes componentes: dispositivos de carregamento e descarregamento; polias de acionamento, de retorno e esticadora; roletes de carga e de retorno; correia transportadora; estrutura de suporte de carga; e dispositivo de acionamento (SILVA, *et al.*, 2020).

O sistema de acionamento é o responsável pela movimentação da correia transportadora e de sua carga. A força de movimentação é transmitida por atrito à correia ao abraçar o tambor de acionamento, que é girado por um motor (MERCÚRIO, 2019).

O ângulo de abraçamento da correia é de suma importância para o cálculo das tensões da correia transportadora, e conseqüentemente para o cálculo da potência do motor utilizado para o acionamento. A largura mínima de uma correia transportadora é dependente da granulometria do material a ser transportado (SILVA, *et al.*, 2020).

Existem dois métodos que são empregados para o projeto de correias transportadoras: o Método Prático e o Método CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association). Os dois métodos citados têm em comum a necessidade de parâmetros importantes de entrada no projeto de correias transportadoras, que dependem, basicamente, das características dos materiais que serão transportados (MALAGONI, 2013).

A capacidade volumétrica (C) de um transportador é calculada em função da área de sua secção transversal, do peso específico do material e também da velocidade (V) da correia. A área da secção transversal, como visto em FAÇO (1981), se dá em função da largura da correia, do número e da inclinação (β) dos roletes e do ângulo de acomodação do material na correia (α), que é uma característica do material quando está em movimento na correia, devido ao nivelamento do material causado pela trepidação da correia nos roletes (SILVA *et al.*, 2020).

A velocidade da correia transportadora depende muito do tipo de material a ser carregado, pois, ao transportar materiais pesados e de grande granulometria e pontiagudos, como descrito em Indústria (2009), pode ocorrer abrasão nas calhas de descargas quando submetidos a altas velocidades. Já os materiais secos e muito finos, que são os materiais em forma de pó, quando submetidos a altas velocidades causam poeiras.

Geralmente, o acionamento da correia transportadora é realizado através de um único tambor ou por dois tambores, que são, respectivamente os acionamentos simples e duplo. Como visto em Mercúrio (2019), a potência de acionamento da correia transportadora é composta de 4 importantes parcelas: Potência para mover a correia vazia (N_v); Potência para mover a carga na horizontal (N_1); Potência para elevar ou descer o material (N_h), existentes nos transportadores em aclave ou declive; e Potência para vencer o atrito de acessórios da correia, como: rapadores, limpadores, etc. (SILVA *et al.*, 2020).

$$N_e = V(N_v + N_g) + (Q \cdot 27,8)(N_1 \pm N_h) \quad (2).$$

Onde:

N_e representa a potência total efetiva;

V representa a velocidade de projeto;

N_v representa a potência para acionar o motor a vazio a uma velocidade de 1,0m/s;

N_g representa a potência para vencer o atrito das guias laterais à velocidade de 1,0 m/s; • Q representa a capacidade mássica (t/h);

N_1 representa a potência para deslocar 27,8 kg/s de material de uma distância na horizontal;

O Table Feeder é um equipamento de alimentação integrado a uma Balança Dosadora que fornece a quantidade de material solicitada pelo processo. Com o giro da Mesa o material do cone e do silo vai sendo expelido continuamente por um raspador para a Balança Dosadora. Este equipamento é usualmente aplicado em Plantas de Sinterização e de Pelotização (LIMA: BRITO, 2016).

A empresa SGS utiliza o sistema de alimentador de correia, os sistemas de amostragem mecânica projetados e comissionados aonde definem os padrões do setor para amostragens a granel (LIMA: BRITO, 2016).

Os alimentadores de correia de orientação positiva são um componente de um sistema de amostragem mecânica (MSS) que ajuda a assegurar que as suas amostras a granel sejam representativas. Os alimentadores de correia da SGS permitem controlar e ajustar a taxa de alimentação, tensão e acompanhamento da correia. Esses alimentadores de correia de baixa manutenção foram projetados para minimizar o derramamento e o acúmulo de material na polia traseira (LIMA: BRITO, 2016).

Os recursos utilizados são: Projetos de correias com cochos para correias de 350 e 500 mm de largura, segundo o padrão Direção montada sobre eixo Três correias de chapa com junta conectada, segundo o padrão Raspadeira de correia externamente ajustável Unidades de retenção com parafusos de aço inoxidável Alimentadores de amostras totalmente contornados com uma seção em "U" invertido de aço inoxidável com contornos ajustáveis de borracha em contato com a correia. Outros recursos disponíveis: Direção de velocidade variável Porta de perfil para variar a profundidade do leito do material que está sendo transportado cabeça

retardada e polias traseiras Arado de retorno ao conduzir materiais grosseiros Capas de proteção contra as intempéries (LIMA: BRITO, 2016).

A empresa Haco desenvolve especificamente para o transporte pesado com recebimento e extração de diversos materiais. Como está no início do transporte e normalmente vinculado a moegas, tem a função de dosar e gerar um fluxo uniforme do material para o processo seguinte. Estão presentes principalmente na mineração, mas também são utilizados na indústria de fertilizantes, química, cimento, entre outras (LIMA: BRITO, 2016).

Os alimentadores de correia projetados e fabricados pela ZL Equipamentos foram desenvolvidos para ser empregados principalmente em retomada de material finos e úmidos, também são usados embaixo de silos ou pilhas ou até mesmo onde o uso de alimentadores vibratórios não seja recomendado. Os mesmos podem ser equipados com inversor de frequência, para alterar velocidade, permitindo assim alterar com facilidade a dosagens dos materiais sem perder a precisão de alimentação. Sendo basicamente um transportador de correia, sua concepção é extremamente simples, oferecendo o máximo rendimento por mínimo custo de operação e manutenção (LIMA: BRITO, 2016).

O cálculo usado para o dimensionamento de alimentadores de correia segue os mesmos critérios usados para o cálculo de transportadores de correia, a diferença básica está na determinação da tensão efetiva (T_e), onde além de coeficientes diferentes são incluídas outras tensões componentes. Determinada a tensão efetiva o cálculo das tensões de operação da correia, o dimensionamento da motorização, a seleção da correia e dos tambores seguem o mesmo procedimento adotado para transportadores de correia (LIMA: BRITO, 2016).

É importante o investimento nesta tecnologia para que opere com a maior eficiência e que a manutenção seja simples. Bons acessos às intervenções e componentes comuns que sejam facilmente encontrados no almoxarifado da empresa melhoram a aceitação do equipamento. Somando-se a limpeza adequada do equipamento com a execução dos planos de inspeção e manutenção, será possível garantir um excelente desempenho para o equipamento bem projetado, assim garantindo baixos índices de falhas (LIMA: BRITO, 2016).

CONCLUSÕES

As variáveis de projeto de um alimentador podem influenciar de maneira definitiva na sua escolha para um determinado processo. Nesse trabalho observou-se que o ângulo de repouso não influencia na capacidade de alimentação. Por outro lado, ele influencia fortemente

no termo de gasto de energia p_{fs} de forma que quanto menor o ângulo de repouso maior o valor de p_{fs} (tensão por atrito) que também é diminuído ao reduzir a altura de material sobre a correia. Ademais, dobrar a largura da correia pode quadruplicar a capacidade do alimentador, na mesma proporção quadruplica o gasto de energia.

Para todos os modelos de correia HDRN, os termos que envolvem a tensão para movimentar o material e a tensão devida ao atrito nas guias laterais, p_s e p_{fs} , são os que mais oneram o gasto de energia da correia. O conhecimento preciso do valor do coeficiente f_m é fundamental na utilização do alimentador para outros materiais.

Visto que as variáveis de projetos influenciam diretamente no resultado do processo, é viável um estudo entre o gasto de energia e o tipo de material utilizado na alimentação, já que os gastos do processo também são importantes no resultado final, ou seja, traçar um plano de custo para determinar melhor escolha das variáveis de acordo com o material utilizado. O estudo do atrito das guias laterais também é viável, já que são eles os responsáveis pelo maior gasto de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. G. de Freitas, R. B. dos Santos, V. F. de Oliveira, Y. O. Lima, L. A. M. Riascos. **Eficiência energética em um alimentador de sólidos pressurizado para transporte pneumático**. Conference Paper · October 2019. DOI: 10.5151/2594-3626-33719.

A. G. Freitas, R. B. dos Santos, Y. O. de Lima, V. F. Oliveira e L. A. M. Riascos. Research, development and innovation: **batchpump, a new industrial solid feeder**. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação 05 a 07 de agosto de 2019, São Carlos, SP, Brasil.

A. M. Tavares e A. A. P. Faria. **Estudo do aumento espontâneo na velocidade de partículas em transportadores de correia**. DINCON, Natal - RN, 2015.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais; distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2007.

BARONI, G. D.; BENEDETI, P. H.; SEIDEL, D. J. **Cenários prospectivos da produção e armazenagem de grãos no Brasil**. Revista Thema, v. 14, n. 4, p. 55-64, 2017.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J., **Logística Empresarial**. São Paulo: Atlas, 2007.

CALIJORNE, Alexandre. **Aspectos essenciais em sistemas para longa distância**, 2012.

CARVALHO, D.F. **Eficiência energética em transportadores de correias delonga distância – estudo de caso**. 36º SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES e 30º ENCONTRO DE PRODUTORES E CONSUMIDORES DE GASES INDUSTRIAIS, ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015.

CHRISTOPHER, Martin. **O marketing da logística: otimizando processos para aproximar fornecedores e clientes**. Futura: São Paulo, 2007.

COSTA, Mayrlla Andryelly; JUNIOR, Moilton Franco. Análise de alimentadores de correia HDRN segundo seu consumo de energia, as suas variáveis de projeto e a densidade do material. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, p. e26889-e26889, 2021.

D. F. Carvalho, **Eficiência energética em transportadores de correias de longa distância – estudo de caso**. 36º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 30º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

DA SILVA, L. C. **Unidades Armazenadoras: Planejamento e Gerenciamento Otimizado**. Boletim Técnico: AG, v. 1, n. 06, 2006.

DALPASQUALE, V. A.; SPERANDIO, D. **Modelo de simulação de secagem de produtos agrícolas usando entalpia do ar constante**. Engenharia Agrícola, v.30, p.726-731, 2010.

FARIA, G. H. C, et al. Potencial de atuação da engenharia nos rejeitos sólidos de mineração no Brasil. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, e24041, 2021.

FLEURY, Paulo Fernando. **O Sistema de Processamento de Pedidos e a Gestão do Ciclo do Pedido**. 2012.

GASQUES, J. G. *et al.* **Produtividade da Agricultura Brasileira: uma Hipótese da Desaceleração**. Agricultura, Transformação Produtiva e Sustentabilidade. IPEA, p143-163, 2016.

INDÚSTRIA, P. **Correias Transportadoras: Guia básico**. 1. ed. Brasil: IEL/NC, 2009. 180 p.

J. J. M. Santiago, C. C. Alcântara, D. N. L. Alves, J. B. Simões. **Dimensionamento da potência mínima exigida do acionamento principal de transportadores de correia. Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

LIMA, Rafael Cerqueira, *et al.* **Redução de falhas e entupimentos em uma planta de sinterização através da substituição de um Table Feeder por um alimentador de correia**, 2016.

LIMA, Rafael Cerqueira; ALAS, Layda F. Anselmo; BRITO, Jorge Nei. **Redução de falhas e entupimentos em uma planta de sinterização através da substituição de um table feeder por um alimentador de correia**, 2016.

MALAGONI, D. S. e R. **Correias transportadoras: Um estudo computacional de comparação dos métodos cema e prático**. HOLOS, Uberlândia, 2013.

MERCÚRIO, C. **Mercurio: Manual técnico de correias transportadoras**. 3. ed. Brasil: Schoba, 2019. 348 p.

MONTOYA, M. A. et al. **Consumo de energia, emissões de co2 e a geração de renda e emprego no agronegócio brasileiro: uma análise insumo–produto.** *Economia Aplicada*, v. 20, n. 4, p. 383-413, 2016.

MORRISON, D.J., **The use of continuous materials handling equipment in an open cut iron ore mine.** Iron Ore Conference, Perth, Austrália.2007.

NORDELL, I, L. K. **A New Era in Overland Belt Conveyor Design.** *Engineering and Mining Journal*, 1999.

OLIVEIRA, Regina Tatiana de. **Automação em inspeções de correias transportadoras aplicadas à mineração.** 2019.

OPARAOCHA, S., DUTTA, S. **Gender and energy for sustainable development.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 3, n. 4, p. 265-271. 2011.

R. C. Lima, L. F. A. Alas e J. N. Brito, **Redução de falhas e entupimentos em uma planta de sinterização através da substituição de um table feeder por um alimentador de correia.** 46º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 17º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 4º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, ABM Week, realizada de 26 a 30 de setembro de 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RIBEIRO, Breno Gonçalves Cardozo. **Estudo de viabilidade econômica para a implantação de correias transportadoras de Rom de minério de ferro: estudo de caso da Mina Fábrica em Congonhas,** Estado de Minas Gerais. 2013.

Santos Jr, R. M, Piquet, C.V., Amarante Mesquita, A.L., Mesquita, A.L.A. **Laboratório de transportadores de correia para análise de chutes em escala. XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - Belém-PA,** 2017.

SANTOS, André A. et al. **Sistema automático para a inspeção visual de transportadores de correia,** 2019.

SANTOS, D. A.; MALAGONI, R. A. **Projeto de correias transportadoras: um estudo computacional de comparação dos métodos CEMA e Prático.** *HOLOS*, v. 3, p. 358- 369, 2014.

SILVA, Dayani Regina da *et al.* **Consumo de energia de uma correia transportadora utilizada em unidades de armazenamento de grãos.** 2020.

SILVA, Gabriel Masete da *et al.* **Análise dos métodos Prático e CEMA para correias transportadoras e escolha do seu conjunto de acionamento sob a luz da eficiência energética.** 2020.

STEVEN, R. B. **Belting the World’s Longest Single Flight Conventional Overland Belt Conveyor.** *Bulk Solids Handling*, volume 28 - número 3 – Março, 2008.

TAVARES, A. M.; FARIA, A.A.P. **Estudo do aumento espontâneo na velocidade de partícula sem transportadores de correia**. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, v. 4, n. 1, 2016.

VANAMANE, S. S, *et al.* **Introduction to belt conveyor system used for cooling of mould, National Conference on Recent Advances in Manufacturing Engineering and Technology**, Hyderabad, p. 104-108, 2011.

VIEIRA, Josiane, Cristine, Aparecida, Oliveira. **A tecnologia do transportador de correias de longa distância (tcl) como estratégia do sistema de transporte numa mineradora em minas gerais**. Monografia. 2012.

ZIMMERMANN, E and KRUSE, W., **Mobile crushing and conveying in quarries – a chance for better and cheap production**, 2006.