

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS NAS OPERAÇÕES DE LAVRA DE UMA MINA DE MINÉRIO DE FERRO*

Caio Melo Almeida¹
Thaís de Castro Neves²
Alexandre Camilo Leles de Figueiredo³

Resumo

As organizações do setor mineral vêm buscando a reavaliação dos seus processos de produção para um melhor atendimento às demandas ambientais, sociais e econômicas. A presente pesquisa objetivou-se a definir o melhor modal para transporte de minério de ferro a partir de uma determinada frente de lavra em uma mineração de grande porte que possui a disponibilidade de realizar o transporte integralmente com caminhões fora de estrada ou com um modal misto de caminhões e correias transportadoras, no qual a utilização dessas correias transportadoras pode reduzir a distância média de transporte (DMT) realizada pelos caminhões. O dimensionamento de frota realizado para o modal misto apresentou uma redução da quantidade de horas necessárias de caminhão devido à menor DMT se comparado ao transporte somente por caminhões. Por outro lado, a alimentação desse sistema de correias demanda a utilização de uma carregadeira adicional, aumentando as horas requeridas para os equipamentos de carga. O estudo econômico mostrou que os custos das horas adicionais do equipamento de carga são maiores do que aqueles reduzidos com caminhões devido a menor DMT. Logo, foi possível concluir que, para o caso estudado, a inserção de correias transportadoras para redução da DMT de caminhões não é viável economicamente.

Palavras-chave: viabilidade econômica, minério de ferro, transporte de minério, correias transportadoras e caminhões

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF CONVEYOR BELTS IN THE MINING OPERATIONS OF AN IRON ORE MINE

Abstract

Organizations of the mineral sector have been seeking the reassessment of their production processes to better meet the environmental, social and economic demands. The present study aimed to define the best modal for iron ore transport from a given mining front in a large mining that has the availability to carry out the transportation using only trucks or a mixed modal of trucks and conveyor belts, in which the use of these conveyor belts can reduce the transportation distance. The fleet sizing for the mixed modal showed a reduction in the necessary hours of trucks due to lower haulage distance if compared to transport using only trucks. On the other hand, the feed of this conveyor belt system demands the use of an additional loader, increasing the hours required for the loading equipment. The economic study showed that the costs of the additional hours of loader are greater than the reduced costs with trucks due to lower haulage distance. Therefore, it was possible to

conclude that, for the case studied, the inclusion of conveyor belts to reduce the haulage distance is not economically feasible.

Keywords: economic feasibility, iron ore, ore transportation, conveyor belts and trucks

¹ Engenheiro de Minas, Engenheiro de Mineração, Samarco Mineração S/A, Mariana, MG, Brasil.

² Engenheira de Minas, Engenheira de Mineração, Samarco Mineração S/A, Mariana, MG, Brasil.

³ Engenheiro de Minas, Engenheiro Especialista, Samarco Mineração S/A, Mariana, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria mineral, juntamente com o agronegócio, pode ser considerada um dos setores de maior vulnerabilidade com relação a faturamento e lucratividade. Isso se deve ao fato desses setores terem seus produtos precificados pelo mercado internacional, uma vez que, em sua maioria, vendem *commodities*. Dessa forma, a redução dos custos de produção faz-se muito necessário para amortecer os impactos da variação do preço de venda (CONTENT, 2017; THOMSON REUTERS, 2018; FERREIRA, 2012).

Alguns outros fatores ainda devem ser levados em consideração como uma produção mais limpa e sustentável, buscando a redução da geração de resíduos e da emissão de gases poluentes. Soma-se ainda a necessidade de se operar com maior responsabilidade diante da sociedade, que possui a participação cada vez mais ativa nas organizações (MATTOS, 2001; CRAVOL & FERREIRA, 2012; GAVIÃO et. al., 2016).

Diante dessas perspectivas, as organizações do setor mineral estão em fase de reavaliação dos seus processos de produção, na qual, além de buscar o melhor atendimento as demandas ambientais e sociais, também procuram a redução dos seus custos operacionais, a fim de tentar manter seus índices mínimos de lucratividades durante as reduções dos valores das *commodities*.

O processo de lavra do minério, que segundo Pinto & Dutra (2008), corresponde as etapas de desmonte, carregamento e transporte, vem sendo constantemente reavaliado em busca desses objetivos, sendo que o foco muitas vezes gira em torno do transporte, pois, para Ercelebi&Bascetin (2009), o custo dessa etapa corresponde entre 50 e 60% do custo do processo de lavra.

Os modais de transporte mais difundidos na mineração brasileira são através da utilização de caminhões, seja eles de pequeno, médio e grande porte, e através de correias transportadoras. Esses modais possuem características bastante distintas, desde o método de operação, custo de implantação, custo de operação, dentre outros.

A presente pesquisa se objetiva a definir o melhor modal para transporte de minério de uma determinada frente de lavra de uma mineração de grande porte que possui a disponibilidade de realizar o transporte integralmente com caminhões fora de estrada ou com um modal misto de caminhões e correias transportadoras, no qual a

utilização dessas correias transportadoras poderá reduzir a distância média de transporte (DMT) realizada por caminhões fora de estrada.

A pesquisa apresenta relevância, uma vez que busca entender se a redução de custo alcançada através da redução da DMT para transporte do minério com caminhões é viabilizada através da utilização de correias transportadoras, inclusive com a adição do equipamento de carga necessário para alimentação do sistema de correias.

1.1 Caminhões fora de estrada

A utilização de caminhões de grande porte, conhecidos como caminhões fora de estrada, é altamente difundida para realização da etapa de transporte da lavra de mina. A alta capacidade de transporte por viagem é uma das principais características desses equipamentos, pois viabiliza a redução da quantidade de equipamentos para transporte de um mesmo volume de produção.

Quando esses caminhões possuem uma manutenção adequada, é possível também que obtenham uma alta disponibilidade física, o que aumenta a confiabilidade do planejamento de produção da mina. Além disso, uma característica importante da utilização desses equipamentos é a alta flexibilidade oriunda da possibilidade de realocação de frentes de lavra (SILVA, 2016; AMARAL & PINTO 2010; OLIVEIRA et. al., 2017).

Existem duas formas de realizar a alocação dos caminhões nas frentes de lavra de uma mina. A forma mais simples é conhecida alocação estática. Nessa, o controlador de tráfego informa ao sistema de despacho em qual frente de lavra o caminhão deve carregar e em qual local deve ser descarregado. Já a alocação dinâmica é um pouco mais complexa e demanda um sistema de despacho com um algoritmo capaz de direcionar automaticamente os caminhões para a frente de lavra mais adequada, buscando a otimização das operações, reduzindo tempos de fila e demais atrasos operacionais (AMARAL & PINTO, 2010; CAMPELO et. al., 2018).

Além de realizar a alocação dos equipamentos, o sistema de despacho de frota possui também uma função importante que é de armazenar os dados de produção e tempos detalhados das atividades realizadas pelos equipamentos de mina. Dados como distância média de transporte, velocidade dos caminhões quando estão carregados e quando estão descarregados e indicadores como taxa de utilização, disponibilidade física e eficiência operacional ficam armazenados no sistema de despacho. Esses dados são utilizados para a realização de dimensionamentos de frota, na qual se obtém o número de horas necessárias para realizar a lavra que está sendo planejada e conseqüentemente a quantidade necessária de equipamentos (AMARAL & PINTO, 2010; CAMPELO et. al., 2018).

A simulação da lavra também pode ocorrer com os dados obtidos pelo sistema de despacho para buscar a melhor alternativa operacional. Dessa forma, é possível realizar simulação de diferentes possibilidades de lavra para a otimização e operacionalização do plano de lavra antes de colocá-lo em prática. Dessa forma, é possível reduzir as perdas já identificadas na simulação (COELHO et. al., 2015; CAMARGO et. al., 2018).

Apesar dos caminhões fora de estrada possuírem a característica importante de ganho de escala, uma vez que transportam uma quantidade muito grande de minério de uma única vez, seus custos também são representativos no processo de lavra. Além do próprio custo de aquisição elevado, os custos operacionais também são altos, principalmente em relação ao custo de pneus e ao consumo de combustível (SILVA et. al., 2017; CAMPOS JUNIOR et. al., 2013).

Dessa forma, as organizações vêm buscando diversas iniciativas para redução do custo operacional. Dentre estas iniciativas, existe o já citado sistema de alocação dinâmico, que reduz horas ociosas dos equipamentos e, conseqüentemente, diminui o custo unitário (R\$/t). Além disso, algumas novas tecnologias vêm sendo estudadas, como a utilização de caminhões diesel-elétrico, que pode representar uma redução considerável do consumo de diesel. Outra iniciativa é a busca pelo aumento da vida útil dos pneus, na qual vem sendo utilizadas ferramentas de qualidade para apoiar na análise e na busca de oportunidade para a redução de custos com pneus (TERBLANCHE et. al., 2018; SILVA et. al., 2017; CAMPOS JUNIOR et. al., 2013).

Percebe-se então que assim como qualquer outro modal de transporte, os caminhões fora de estrada possuem vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas antes da sua implementação e até mesmo durante a operação desses equipamentos, pois a operação em locais específicos possuem também características específicas que pode fazer suas vantagens e desvantagens terem maior ou menor relevância.

1.2 Correias transportadoras

A utilização de correias transportadoras para realizar transporte de minério já é uma prática difundida na mineração. Diversas são as vantagens que esse sistema possui, desde a manutenção de um fluxo constante de transporte, passando pelo baixo custo operacional até a alta confiabilidade do sistema, principalmente quando se leva em consideração indicadores como disponibilidade física, eficiência operacional e taxa de utilização. Por outro lado, algumas desvantagens devem ser consideradas, como a baixa mobilidade do sistema e alto custo de implantação.

Diante do atual cenário mundial, em que a variação do preço das *commodities* é constante, ter uma operação com baixo custo pode significar a manutenção da competitividade da empresa. A utilização do sistema de correias para realização do transporte pode auxiliar na redução desse custo operacional, que aliado a um eficiente plano de lavra, pode ser contributivo para aumento da lucratividade da mina (RAHMANPOUR & OSANLOO, 2016).

Apesar do sistema de correias já possuir grande utilização dentre as mineradoras, a sua diversificação vem aumentando cada vez mais. Atualmente, algumas empresas possuem estudos para a utilização de correias transportadoras dentro da mina, substituindo a utilização de caminhões fora de estradas. Algumas empresas já possuem, inclusive, esse sistema implantado. A principal característica dessa utilização é que não se faz mais necessário a utilização do caminhão fora de estrada para transportar o minério até a correia mais próxima, pois a própria correia é

posicionada até a frente de lavra e o equipamento de carga passa a carregar diretamente o sistema de correias e não mais os caminhões (RIBEIRO et. al., 2016).

Esse sistema de correias deve ter maior mobilidade, pois as frentes de lavra avançam com o passar do tempo. Além disso, o planejamento de lavra necessita de uma maior previsibilidade, pois não é possível alterar a frente de lavra que está em operação num curto período de tempo, como é feito com caminhões. A frente de lavra que possui a correia transportadora precisa se manter em operação até que seja feito o planejamento para alterar a posição da correia. (NEHRING et. al., 2018).

O sistema de correias transportadoras também representa uma alternativa ambientalmente mais adequada, pois não emite gases poluentes, uma vez que utiliza energia elétrica e não combustíveis fósseis como é o caso da maioria dos caminhões fora de estrada. Além disso, possui menor emissão de ruídos e de particulados (RIBEIRO, 2013).

Por outro lado, o sistema de correias possui algumas desvantagens significativas, como a necessidade de que todas as correias interligadas estejam em funcionamento para que ocorra o transporte, diferente dos caminhões, logo, quando qualquer uma das correias para, o transporte é paralisado. Além disso, alguns problemas recorrentes como o desalinhamento e rasgo de tapete pode comprometer a realização da lavra (MACHADO et. al., 2017).

Diante disto, algumas minerações utilizam o sistema integrado em que são necessários caminhões fora de estrada e correias transportadoras para a realização da lavra e transporte do minério até a próxima etapa do processo. A integração dos modais, juntamente com um bom sistema de excelência em gestão (SEG), pode auxiliar a organização para o alcance dos seus objetivos de redução de custo, atendimento aos requisitos de qualidade e aos requisitos ambientais (SALGADO, 2008).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e métodos

Com foco em redução de custo unitário da operação conjugada de carregamento e transporte de uma dada frente de lavra, foram avaliadas duas opções de modal de transporte a saber: somente com caminhões e sistema misto, ou seja, transporte por caminhões até um ponto intermediário e depois via correias transportadoras até a pilha pulmão, conforme apresenta a figura 1.

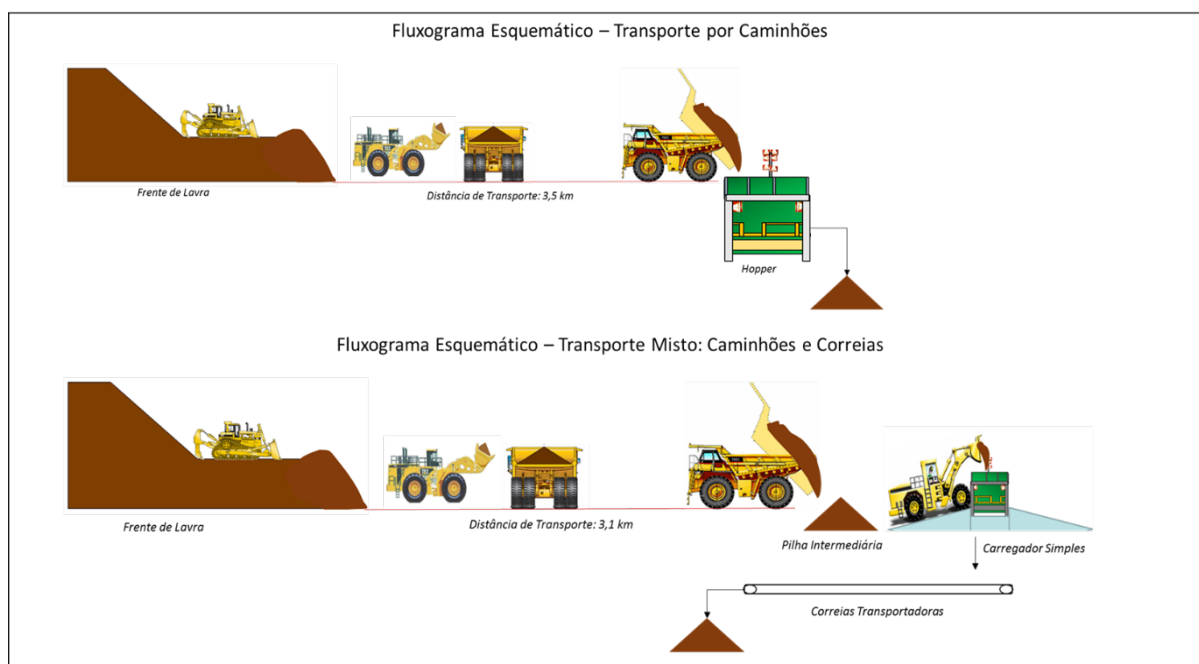


Figura 1. Fluxograma Esquemático do Método de Lavra.
Fonte: Autores

2.2 Dimensionamento de frota

Após a definição dos pontos de carga e descarga dos materiais nos dois modais de transporte, dados foram coletados do Sistema de Gerenciamento de Frota utilizado na mina e os mesmos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Dados extraídos do banco de dados do Sistema de Gerenciamento de Frota

Frota	Indicador		Unidade	Valor
Transporte CAT789D	Velocidade Cheio	Média	km/h	14,9
	Velocidade Vazio	Média	km/h	15,9
	Eficiência Operacional		%	91,0
Carregadeira CAT994H (Sistema Convencional)	Produtividade Efetiva		toneladas/hora	2.428
	Eficiência Operacional		%	80,0
Carregadeira CAT93K (Sistema de Correias)	Produtividade Efetiva		toneladas/hora	1.177
	Eficiência Operacional		%	75,0

Além dos dados da tabela supracitada, para o dimensionamento da frota requerida para o transporte foram necessários a obtenção dos dados relacionados à capacidade do caminhão e os tempos fixos da operação unitária do transporte.

No estudo em questão, foram adicionados equipamentos que suportam essas atividades, tais como trator no desmonte do minério in situ, a motoniveladora e o caminhão pipa para manutenção e umectação do acesso dos caminhões, respectivamente.

De posse de todos esses dados, definiu-se, então, a frota total requerida por meio do software Excel para realizar as operações unitárias de lavra, desmonte, carregamento, transporte e auxiliares e, conseqüentemente, as horas necessárias para essas atividades.

A tabela 2 apresenta as horas dimensionadas por atividade considerando a produção de 10.000 toneladas e o método de lavra, por caminhões e sistema misto.

Tabela 2. Horas dimensionadas

Método de Lavra	Indicador	Horas Dimensionadas
Por caminhões	Desmonte	5,56
	Carregamento	5,15
	Transporte	33,60
	Motoniveladora	5,15
	Caminhão Pipa	5,15
Sistema Misto (lavra por caminhões)	Desmonte	5,56
	Carregamento	5,15
	Transporte	30,54
	Motoniveladora	5,15
	Caminhão Pipa	5,15
Sistema Misto (lavra por correias)	Carregadeira	11,33
	Sistema de Correias	11,33

2.3 Custos de operação

Os custos operacionais foram obtidos por meio de levantamento de dados históricos registrados nos relatórios do sistema SAP.

Os custos unitários das frotas contemplam os desembolsos associados a materiais de desgastes, insumos operacionais, mão de obra operacional, serviços de

manutenção e aluguel, caso específico do caminhão pipa, já que é um serviço terceirizado.

Os materiais considerados foram: pneus, tapete de correias transportadoras, roletes, ferramentas de perfuração de solo e lubrificantes. Os insumos operacionais foram diesel dos equipamentos móveis e energia elétrica, no caso específico do sistema de correias.

A partir das horas dimensionadas e do custo médio unitário por frota, foi possível determinar o custo total por método de lavra.

2.4 Resultados e discussões

A figura 2 apresenta um comparativo em relação ao custo operacional total, considerando a lavra com transporte por caminhões e a lavra com transporte misto (caminhões e correias). É importante ressaltar que o custo operacional contempla inclusive, os custos do desmonte, carregamento, equipamentos auxiliares e mão de obra.

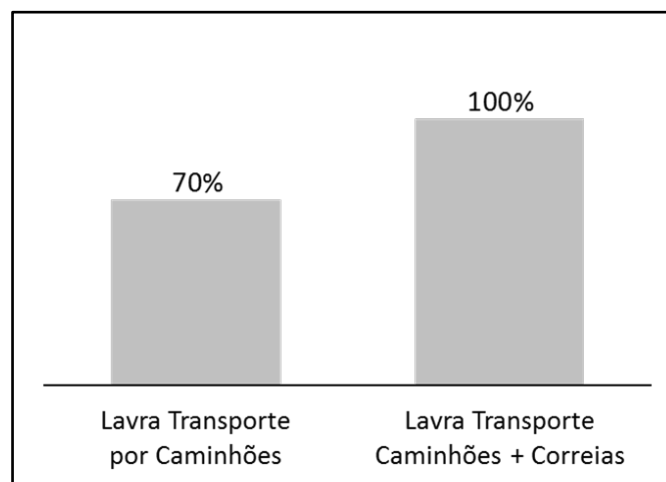


Figura 2. Comparação do custo operacional: lavra por caminhão e lavra sistema misto
Fonte: Autores

É possível observar que, quando se leva em consideração os materiais de desgastes, insumos, mão de obra e serviços, o custo da lavra com transporte por caminhões do minério dessa frente até a pilha pulmão representa cerca de 70% da lavra com transporte misto, mesmo tendo a lavra mista, menor DMT.

Um dos principais fatores que faz com que o resultado da lavra com transporte misto seja maior que no transporte somente caminhões é o custo da retomada de minério, pois, além da necessidade do transporte do minério da frente de lavra até uma área intermediária, é necessária a utilização de outra carregadeira para carregamento do minério no sistema de correias. Além disso, existe o custo do próprio sistema de correias para transporte do minério até à pilha final.

3 CONCLUSÃO

Dois modais para transporte de minério de ferro a partir de uma determinada frente de lavra em uma mineração de grande porte foram avaliados economicamente, sendo: 1) transporte utilizando somente caminhões fora de estrada; 2) e um misto de caminhões e correias transportadoras. O dimensionamento de frota realizado para o modal misto apresentou uma redução quantidade de horas necessárias de caminhão devido à menor distância média de transporte se comparado ao transporte somente por caminhões. Em contrapartida, a alimentação desse sistema de correias demandou a utilização de uma carregadeira adicional, aumentando as horas requeridas para os equipamentos de carga. O estudo econômico mostrou que os custos das horas adicionais do equipamento de carga e dos sistemas de correias são maiores do que aqueles reduzidos com caminhões devido à menor distância média de transporte. Logo, concluiu-se que, para o caso estudado, a inclusão de correias transportadoras para redução da distância média de transporte dos caminhões não é viável economicamente. É importante ressaltar, que o objetivo do estudo foi comparar a lavra com transporte por caminhões com a lavra com transporte misto – caminhões e correias. Não é objeto deste estudo comparar com o método de lavra por correias, sem acréscimo de caminhões. Essa limitação apoia a sugestão de pesquisas futuras com relação ao método de lavra por correias, sem a inserção de caminhões no processo.

REFERÊNCIAS

- 1 Content, A. B. (2017). Como empresas se protegem da oscilação de preço de commodities. Revista Exame. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/como-empresas-se-protegem-da-oscilacao-de-preco-de-commodities/>>. Acessado em 31 de maio de 2018.
- 2 Thomson Reuters (2018). Como lidar com a volatilidade dos preços das commodities. Discover Thomson Reuters – Financeiro. Disponível em: <<https://www.thomsonreuters.com.br/pt/financeiras/blog/como-lidar-com-volatilidade-precos-commodities.html>>. Acessado em 31 de maio de 2018.
- 3 Pinto, C. L., & Dutra, J. I. (setembro de 2008). Introdução ao Planejamento e Operação de Lavra. Acesso em 05 de junho de 2018, disponível em <<http://xa.yimg.com/kq/groups/23460048/1755651139/name/II>>.
- 4 Ercelebi, S., & Bascetin, A. (2009). Optimization of shovel-truck system for surface mining. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 109, 433-439.
- 5 Cravol, L. B.; Ferreira, F. S. (2012). Sustentabilidade – Uma Reflexão a Respeito do Compromisso das Empresas com o Meio Ambiente: Um Estudo de Caso da Manfrim Industrial e Comercial LTDA. Revista Hórus, v. 7, n. 3, p. 37-55.
- 6 Silva, C. M. P. (2016). Análise das principais falhas do sistema de direção dos caminhões fora de estrada em uma mineradora. Faculdade Ietec. Disponível em: <<http://www.ietec.com.br/clipping/2017/06-junho/an%C3%A1lise-das-principais->

falhas-do-sistema-de-dire%C3%A7%C3%A3o-dos-caminh%C3%B5es-fora-de-estrada-em-uma-mineradora.pdf>. Acessado em 08 de junho de 2018.

7 Amaral, M.; Pinto, L. R. (2010). Planejamento de Operações de Lavra em Minas a Céu Aberto com Alocação de Equipamentos de Carga e de Transporte. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves.

8 Gavião, L. O.; Barreto, M.; Lima, G. B. A.; Meza, L. A.; Souza, D. O. G.; Vieira, T. G. (2016). Avaliação de eficiência a partir de indicadores de sustentabilidade. Conhecimento & Diversidade, Niterói, v. 8, n. 16, p. 68–83, jul./dez.

9 Terblanche, P. J.; Kearney, M. P.; Knights, P. F. (2018). Potential of on-board energy recovery systems to reduce the costs of diesel–electric mine truck haulage. Mining Technology.

10 Machado, A. C. S.; Brito, H. B. P.; Sousa, J. R. F.; Pinheiro, L. L.; Muniz, L. J. C.; Aires, M. F. M. (2017). Redução dos Efeitos Colaterais Recorrentes do Desalinhamento de Correia Transportadora. Anais do I Mostra Científica da Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras (ICEMEC). P. 7-9. São Luís.

11 Campelo, A. C. M. M.; Marin, T.; Tomi, G. F. C. (2018). Utilização de Dados do Sistema de Despacho para Estimativa de Produtividade de Transporte no Plano de Lavra de Curto Prazo. Technol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 15, n. 2, p. 86-90, abr./jun. 2018.

12 Ferreira, T. C. (2012). Ciclos de liquidez internacional e Ciclos de preço das commodities: Uma análise da vulnerabilidade externa dos países latino-americanos pós-crise de 2008. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. Campinas.

13 Ribeiro, B. G. C.; Sousa, W. T.; Luz, J. A. M. (2016). Feasibility project for implementation of conveyor belts in an iron ore mine. Study case: Fabrica Mine in Minas Gerais State, Brazil. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 69(1), 079-083, jan. mar. | 2016.

14 Rahmanpour, M.; Osanloo, M. (2016). Determination of value at risk for longterm production planning in open pit mines in the presence of price uncertainty. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Volume 116, march.

15 Mattos, L. B. R. (2001). A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa - O Caso do Município do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE. Rio de Janeiro.

16 Oliveira, P. R. F.; Vieira, C. S.; Souza, C. J. A. (2017). A Implantação do Lean Manufacturing numa Oficina de Manutenção de Equipamentos de Mineração. Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2017.

17 Silva, G. G.; Demuner, P. F.; Pereira, P. E. C.; Araújo, R. P.; Pinto, H. S. D. (2017). Utilização de Ferramentas de Qualidade para Aumento da Vida Útil de

Pneus de Caminhões Fora-de-Estrada. Simpósio de Engenharia de Produção – UFG. Catalão.

18 Campos Junior, C. R.; Zenha, T. M.; Recla, T. A. R.; Silva, W. L. V. (2013). Desenvolvimento de uma metodologia para redução do consumo específico de diesel em caminhões fora de estrada em uma empresa do setor de mineração. X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia.

19 Salgado, L. S. (2008). O Sistema de Excelência em Gestão e sua Implantação em uma Empresa de Mineração e Construção. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Produção. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora.

20 Coelho, G. F.; Monteiro, N. J.; Melo, A. C. S.; Nunes, D. R. L.; Martins, V. W. B. (2015). Modelo de simulação da atividade de lavra em minas a céu aberto: um estudo de caso em uma mineradora no Estado do Pará. 1º Encontro interestadual de Engenharia de Produção. São João da Barra.

21 Camargo, L. F. R.; Rodrigues, L. H.; Lacerda D. P.; Piran, F. S. (2018). A method for integrated process simulation in the mining industry. *EuropeanJournalofOperationalResearch* 264. 1116–1129.

22 Ribeiro, B. (2013). 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. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mineral. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral.

23 Nehring, M.; Knights, P. F.; Kizil,, M. S. ; Hay, E. (2018). A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems. *InternationalJournalof Mining Science and Technology* 28. 205–214.