



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto  
Departamento de Engenharia de Minas  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM

---

# 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

Autor: **BRENO GONÇALVES CARDOZO RIBEIRO**

Orientadores: **Prof. Dr. WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA**  
**Prof. Dr. JOSÉ AURÉLIO MEDEIROS DA LUZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de concentração:  
**Lavra de Minas**

Ouro Preto/MG  
Novembro de 2013.

R484e

Ribeiro, Breno Gonçalves Cardozo.

Estudo de viabilidade econômica para a implantação de correias transportadoras de Rom de minério de ferro [manuscrito]: estudo de caso da Mina Fábrica em Congonhas, Estado de Minas Gerais / Breno Gonçalves Cardozo Ribeiro – 2013. 81f.: il. Color.; graf.; tabs.; mapas.

Orientadores: Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa.  
Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz.

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

Área de concentração: Lavra de Minas.

1. Projetos - Avaliação - Teses. 2. Viabilidade econômica - Teses. 3. Correia transportadora - Teses. 4. Minérios de ferro - Teses. I. Sousa, Wilson Trigueiro de. II. Luz, José Aurélio Medeiros da. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 622.013:622.341

Catálogo: [sisbin@sisbin.ufop.br](mailto:sisbin@sisbin.ufop.br)

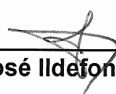
**“ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A  
IMPLANTAÇÃO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS DE ROM  
DE MINÉRIO DE FERRO. ESTUDO DE CASO DA MINA FÁBRICA  
EM CONGONHAS, ESTADO DE MINAS GERAIS”**




**AUTOR: BRENO GONÇALVES CARDOZO RIBEIRO**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 22 de novembro de 2013, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

  
• Prof. Dr. José Artur dos Santos Ferreira (Membro) – UFOP

  
• Prof. Dr. José Ildéfonso Gusmão Dutra (Membro) – UFMG

  
• Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa (Orientador) – UFOP

## Dedicatória

À minha mãe Irani, grande incentivadora.  
À meu pai Itamar e meu irmão Diego pelo apoio constante.  
Á minha esposa Christiane, companheira de sempre.

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, irmão e esposa pelo apoio e constante incentivo para  
meu aprendizado.

Aos colegas de trabalho pela colaboração.

À VALE por incentivar o desenvolvimento de seus empregados.

Ao professor Wilson Trigueiro de Sousa pelo conhecimento compartilhado e  
pela paciência durante a orientação.

À Universidade Federal de Ouro Preto e ao programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mineral pelos ensinamentos.

## **Resumo**

O presente trabalho objetiva estudar a implementação de correias transportadoras de ROM em minas de minério de ferro. Os custos operacionais de mineração da VALE tem uma tendência de aumento nos próximos anos. Este aumento está relacionado com o aumento do preço da mão de obra, óleo diesel, pneus de caminhões fora de estrada e custos de manutenção de equipamentos, além do aumento das distâncias de transporte de ROM. Impactos ambientais devem ser analisados proporcionando a redução dos mesmos.

A elaboração de um estudo de caso da Mina Fábrica (VALE) foi realizada visando um estudo comparativo entre as alternativas do uso de caminhões fora de estrada e a implantação de correias transportadoras. A tomada de decisão da melhor alternativa será realizada pela análise econômica de fluxo de caixa incremental.

Ao realizar a avaliação econômica do projeto, espera-se ganhos econômicos e ambientais na alternativa de implantação de correias transportadoras.

Palavras chave: correias transportadoras, fluxo de caixa incremental, avaliação econômica de projetos de mineração.

## **Abstract**

This work objectify the implementation of conveyor belt to mine iron ore. The mining operating costs of Vale have a tendency to increase in coming years. This increase is related to the rising price of labor, fuel, tires, maintenance costs and large transport distances. The environmental impacts should also be reduced.

The case study of Fabrica mine (VALE) was performed aiming comparative study between big trucks and deployment of conveyor belts. The decision of the best alternative will be made by economic analysis of incremental cash flow.

After economic evaluation of the project performed, it was expected economic and environmental gains in the alternative of deployment of conveyor belts.

Keys-word: conveyor belts, incremental cash flow, mining projects economic evaluation

## Sumário

Dedicatória.....	iv
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vi
Abstract.....	vii
1.0. Introdução .....	1
2.0. Objetivos e Justificativa.....	2
2.1. Objetivo Geral .....	2
2.2. Objetivo Específico .....	2
2.3. Justificativa.....	2
3.0. Revisão Bibliográfica .....	3
3.1. Geologia Regional e Local.....	3
3.2. Produção de Minério de Ferro na VALE.....	12
3.3. História da Mina Fábrica - VALE .....	13
3.4. Conceitos Operacionais e Econômicos.....	14
4.0. Estudo de Caso da Mina Fábrica.....	33
5.0. Estruturação Econômica .....	37
5.1. Mercado Minério de Ferro .....	37
5.2. Custo de Capital .....	39
5.2. Custos Operacionais .....	40
5.3. Depreciação .....	43
5.4. Taxas.....	43
5.5. Taxa de Desconto .....	44
6.0. Avaliação Econômica e Ambiental .....	45
6.1. Avaliação Econômica .....	45
6.2. Análise de Sensibilidade .....	57
6.3. Avaliação Ambiental .....	59
7.0. Considerações Finais .....	65
Referências Bibliográficas.....	67



## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa Geológico Regional da Região das Minas de Fábrica .....	3
Figura 2: Coluna Estratigráfica Simplificada do Quadrilátero Ferrífero .....	4
Figura 3: Mapa do Planejamento de Curto Prazo – Depósito de João Pereira. ....	6
Figura 4: Mapa de Localização das Seções Verticais .....	11
Figura 5: Seção Vertical Tipo da Região de Alto Bandeira. ....	12
Figura 6: Seção vertical Tipo da Região de João Pereira. ....	12
Figura 7: Sistema Produção VALE.....	13
Figura 8: Tendência do Custo Operacional de Mineração da VALE .....	15
Figura 9: Tendência do Custo Operacional de Mineração - Sistema Sul.....	15
Figura 10: Custo de Produção Minério de Ferro.....	16
Figura 11: Correias Convencionais .....	22
Figura 12: Correias à Cabo .....	22
Figura 13: Correias em Tubo .....	22
Figura 14: Correias de Alta Inclinação.....	23
Figura 15: Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras.....	34
Figura 16: Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.....	35
Figura 17: Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras .....	36
Figura 18: Volume de importação de minério de ferro da China (em milhões de toneladas) de 2009 a 2013 .....	37
Figura 19: Volume de produção de aço da China (em milhões de toneladas) de 2004 a 2013 .....	38
Figura 20: Preço minério de ferro .....	38
Figura 21: Análise Sensibilidade - Alternativa A .....	57
Figura 22: Análise de Sensibilidade - Alternativa B.....	58
Figura 23: Análise de Sensibilidade - Alternativa C.....	59
Figura 24: Redução de Caminhões - Alternativa A .....	60
Figura 25: Redução Emissão CO <sub>2</sub> - Alternativa A.....	61
Figura 26: Redução Caminhões - Alternativa B .....	61
Figura 27: Redução Emissão CO <sub>2</sub> - Alternativa B.....	62
Figura 28: Redução Caminhão - Alternativa C.....	63
Figura 29: Redução Emissão CO <sub>2</sub> - Alternativa C.....	63

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Teores de Corte dos Litotipos Utilizados no Modelo Geológico .....	11
Tabela 2: Comparação entre o Transporte de ROM por Caminhões Fora de Estrada e Correias Transportadoras.....	17
Tabela 3: Principais Características dos Britadores.....	24
Tabela 4: Dados Comparativos Entre Opções de Correias (Sandvik) .....	25
Tabela 5: Classificação dos Britadores de acordo com sua Mobilidade .....	28
Tabela 6: Resumo das Três Alternativas de Correias Transportadoras.....	36
Tabela 7: Custo de Capital - Sistema de Britagem Semimóvel Fora da Cava e Correias Transportadoras.....	39
Tabela 8: Custo de Capital: Sistema de Britagem Semimóvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.....	40
Tabela 9: Custo Capital - Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.....	40
Tabela 10: Custo Operacional - Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras.....	41
Tabela 11: Custo Operacional - Sistema de Britagem Semimóvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.....	42
Tabela 12: Custo Operacional - Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.....	43
Tabela 13: Fluxo de Caixa - Alternativa A' .....	47
Tabela 14: Fluxo de Caixa - Alternativa A" .....	48
Tabela 15: Análise Incremental (Fluxo de Caixa A' - A'').....	49
Tabela 16: Análise Econômica Incremental – Alternativa A .....	49
Tabela 17: Fluxo de Caixa - Alternativa B' .....	51
Tabela 18: Fluxo de Caixa - Alternativa B" .....	52
Tabela 19: Análise Incremental (Fluxo de Caixa B' - B'').....	53
Tabela 20: Resumo Análise Econômica Incremental – Alternativa B .....	53
Tabela 21: Fluxo de Caixa - Alternativa C' .....	54
Tabela 22: Fluxo de Caixa - Alternativa C" .....	55
Tabela 23: Análise Incremental (Fluxo de Caixa C' - C'').....	56
Tabela 24: Resumo Análise Econômica Incremental - Alternativa C.....	56
Tabela 25: Parâmetros - Alternativa A .....	57

Tabela 26: Parâmetros - Alternativa B .....	58
Tabela 27: Parâmetros - Alternativa C .....	59

## Lista de Siglas e Abreviaturas

AT – Aterro  
CG - Canga  
IAR – Itabirito Argiloso  
IC – Itabirito Compacto  
IDO – Itabirito Dolomítico  
IF – Itabirito Friável  
IMN – Itabirito Manganésífero  
IN – Intrusiva  
HAR – Hematita Argilosa  
HC – Hematita Compacta  
HF – Hematita Friável  
HMN – Hematita Manganésífera  
IFR – Itabirito Friável Rico  
QF – Quartzito Ferruginoso  
RO – Rolado  
ROM – Run Of Mine  
SO – Solo  
TIR – Taxa Interna de Retorno  
VPL – Valor Presente Líquido  
XI - Xisto

## **1.0. Introdução**

Os custos operacionais de mineração tem 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.

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.

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.

Um estudo de caso da Mina Fábrica (VALE) foi realizado procurando elaborar alternativas comparativas de transporte de minério utilizando caminhões e correias transportadoras.

## **2.0. Objetivos e Justificativa-**

### ***2.1. Objetivo Geral***

Apresentar uma metodologia de elaboração de alternativas comparativas entre caminhões e correias transportadoras, utilizando a Mina Fábrica como estudo de caso, validando a melhor alternativa de transporte de ROM.

### ***2.2. Objetivo Específico***

- Apresentar alternativas de posicionamento de britagem móvel para elaboração do estudo de correias transportadoras.
- Apresentar metodologia econômica de análise incremental para realização do estudo de viabilidade econômica e análise de resultados.

### ***2.3. Justificativa***

A dissertação se justifica pela necessidade de elaboração de estudos de redução de custos operacionais de mineração, promovendo ganhos econômicos e ambientais através da implantação de um método de lavra que deve ser mais difundido nas empresas de mineração.

O estudo da viabilidade econômica é uma ferramenta de tomada de decisão que fornece subsídios à diminuição dos riscos do projeto. A correta elaboração de um projeto pode evitar erros elementares, aumentando as chances de sucesso do empreendimento.

### 3.0. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica aborda aspectos geológicos da região contemplada no estudo de caso e considerações sobre a relevância de conceitos sobre as operações de lavra utilizando correias transportadoras e o posicionamento do sistema de britagem em uma mina. Depois são apresentados conceitos econômicos que serão utilizados na avaliação econômica do projeto.

#### 3.1. Geologia Regional e Local

##### Geologia Regional

As minas de Fábrica (João Pereira, Alto Bandeira, Segredo, Área X, Ponto 2, Ponto 3, Retiro das Almas e antiga cava de Fábrica) situam-se na parte sudoeste do Quadrilátero Ferrífero, mais especificamente no setor oeste do sinclinal Dom Bosco, próximo à sua junção com o sinclinal da Moeda, conforme mostra a figura 1.

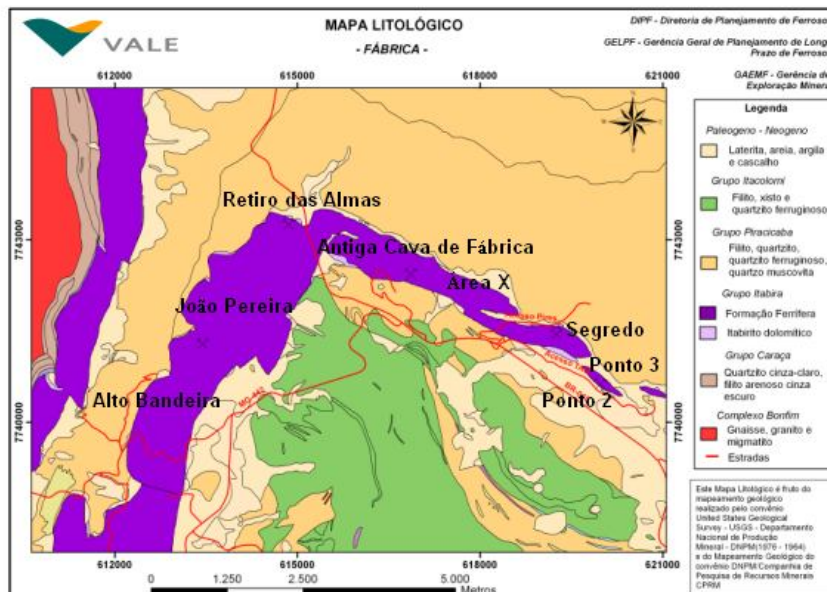


Figura 1: Mapa Geológico Regional da Região das Minas de Fábrica

Nas imediações da mina Fábrica, ocorrem rochas pertencentes ao Supergrupo Minas e em menor expressão, ao seu embasamento granito-gnaíssico. Este embasamento aflora no extremo oeste da área, onde ocorrem gnaisses e granitóides pertencentes ao Complexo Bonfim.

Seguindo a seqüência estratigráfica na região, mostrada na figura 2, o Supergrupo Rio das Velhas é composto, da base para o topo, pelos Grupos Nova Lima e Maquiné (Dorr, 1969). Na região em estudo este supergrupo é representado pelo Grupo Nova Lima, constituído por filitos, filitos grafitosos, clorita xistos, sericita xistos, metagrauvas, rochas máficas e ultramáficas, formações ferríferas do tipo algoma, metacherts e dolomitos.

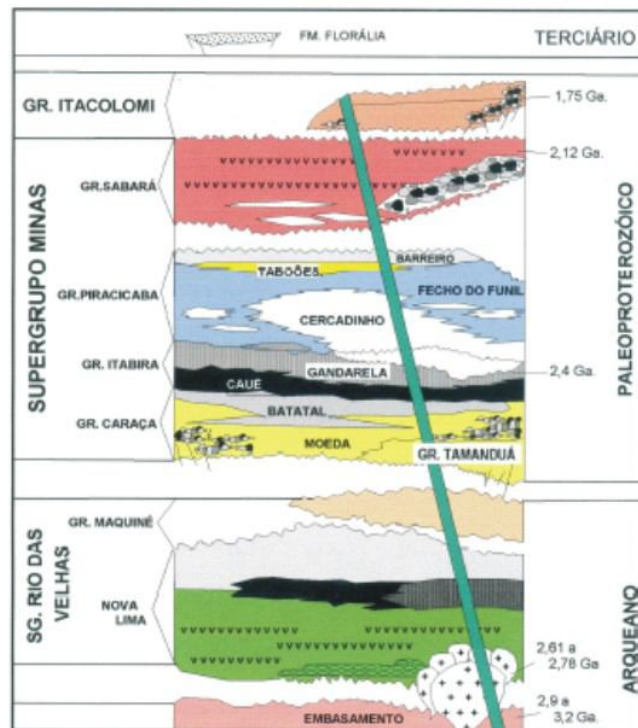


Figura 2: Coluna Estratigráfica Simplificada do Quadrilátero Ferrífero

Estratigraficamente acima do Grupo Nova Lima ocorre a Formação Moeda que aflora na parte inferior da Serra da Moeda, sendo composta predominantemente por quartzitos sericíticos a puros. A base desta formação apresenta diversos níveis conglomeráticos e



quartzitos mais grossos e sericíticos. A porção mais central é composta por quartzitos mais puros e finos, sendo o topo formado por uma intercalação de quartzitos sericíticos, metaconglomerados e metapelitos (Alkmin & Marshak, 1998).

Restrita ao flanco oeste da Serra da Moeda, a Formação Batatal é composta por filitos sericíticos, filitos carbonosos, metassiltitos e filitos dolomíticos de característica cor ocre ou marrom escura (filito tipo “borra-de-café”). Intercalados a este filito existem estratos de metadolomito com até 5 m de espessura e camadas de formação ferrífera com espessura entre 5 e 20 centím.

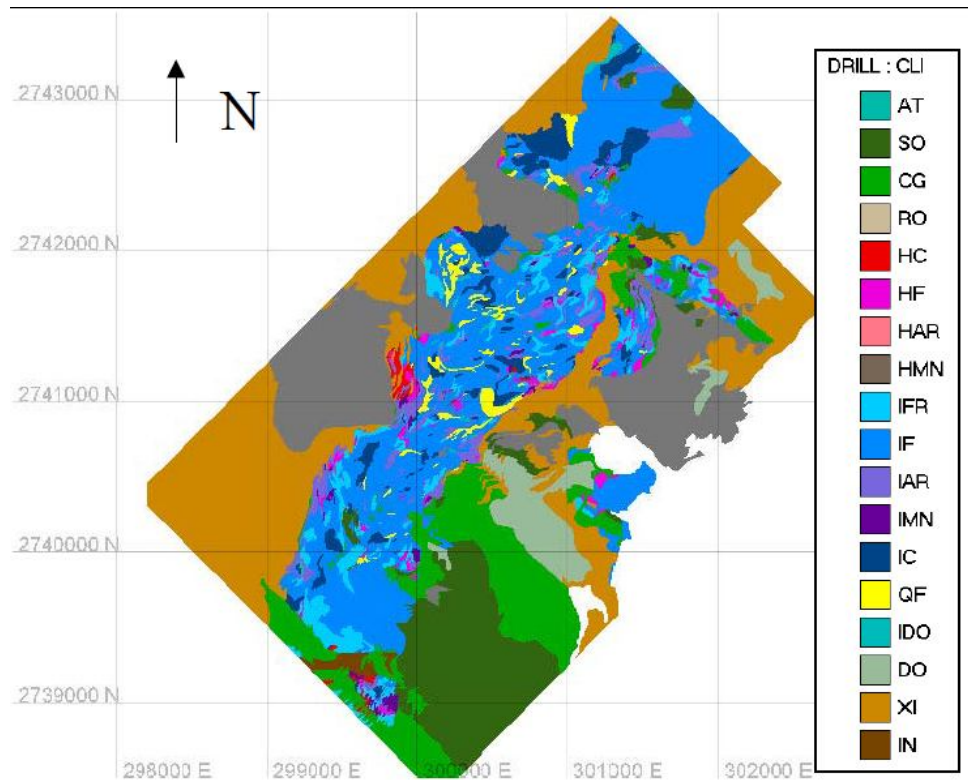
O Grupo Itabira é representado pelas Formações Cauê e Gandarela. A primeira unidade apresenta duas faixas principais de afloramento, uma a oeste, na Serra da Moeda e outra formada por uma lasca de empurrão localizada no interior do sinclinal Dom Bosco (onde se situam as minas de Fábrica). A Formação Cauê apresenta espessura variável entre 200 e 400 m, composta por itabiritos (usualmente com laminação de quartzo e hematita, podendo ocorrer magnetita, dolomita e anfibólio), itabiritos dolomíticos e itabiritos anfibolíticos. Em posição estratigráfica acima dos itabiritos da Formação Cauê ocorrem localmente filitos extremamente intemperizados, de cor ocre e maciços, tanto na Serra da Moeda quanto na lasca de empurrão da Mina Fábrica. Estes podem até serem correlacionáveis à Formação Gandarela, formada por filitos dolomíticos, dolomitos puros a ferruginosos e filitos. Entretanto, não constituem uma unidade mapeável.

O Grupo Piracicaba aparece representado apenas pela Formação Fecho do Funil, sendo esta formação a unidade litoestratigráfica com maior expressão na região, composta por filitos sericíticos com intercalações de quartzitos finos a médios (com alguma hematita detrítica).

Completando a seqüência estratigráfica regional, um conjunto formado pela intercalação de sericita-xistos, sericita quartzo-xistos e metaconglomerados polimíticos imaturos textural e mineralogicamente, é atribuído ao Grupo Itacolomí (fácies Santo Antônio, descrita por Barbosa, 1949), aflorando principalmente no setor central e sudeste da região.

## Geologia Local

O depósito de João Pereira consiste principalmente em rochas pertencentes ao Supergrupo Minas, com as rochas mais antigas na base da Formação Cauê e tectonicamente sobrepostas a litotipos pertencentes ao Grupo Piracicaba. Neste contexto, o depósito é constituído por um conjunto de itabiritos predominantemente silicosos pertencentes à Formação Cauê, com a formação de diversos subtipos resultantes da ação intempérica. Estes itabiritos compõe o maior volume de materiais encontrados em João Pereira, apresentando bandas e lâminas quartzosas com espessuras variando entre 0,3 centím e 15 centím. Também ocorrem corpos descontínuos de hematita fina friável em meio aos itabiritos silicosos ricos, bem como hematitas compactas em formas lenticulares



**Figura 3: Mapa do Planejamento de Curto Prazo – Depósito de João Pereira.**

A noroeste do depósito de João Pereira os itabiritos da Formação Cauê estão sobrepostos a uma seqüência metassedimentar estratigraficamente superior, correlacionável ao Grupo Piracicaba, composta por filitos sericíticos e metassiltitos. Os metassiltitos são bastante homogêneos, porém ocasionalmente há intercalações de lentes de quartzitos com espessuras ao redor de 1,5 m.

No setor sudeste do depósito de João Pereira pode ser encontrado localmente um conjunto composto por filitos sericíticos laminados a bandados, em contato com os itabiritos da Formação Cauê. Intercalados em meio a esses filitos, existem estratos centimétricos a decimétricos de filitos de cor ocre, possivelmente o produto do intemperismo de carbonatos impuros e metamargas. Essas rochas podem eventualmente ser correlacionadas ao Grupo Gandarela, embora não mapeável.

A sudeste da área de afloramento da Formação Cauê predomina uma seqüência bastante deformada, composta por filitos sericíticos e quartzo-xistos, com ocasionais lentes de metaconglomerados polimíticos. Os metaconglomerados possuem clastos de quartzo de veio, filitos sericíticos, filitos carbonosos, quartzo-xistos, quartzitos ferruginosos e formações ferríferas bandadas. Essas rochas são atribuídas ao Grupo Itacolomi, geralmente encobertas pelos depósitos lateríticos (cangas e rolados), estratigraficamente, acima dos itabiritos da Formação Cauê.

Depósitos lateríticos clásticos com até 40 m de espessura podem ser encontrados nos setores nordeste e oeste da mina Fábrica, preenchendo paleovales, provavelmente em pequenas bacias sedimentares Cenozóicas.

Os principais tipos de formação ferrífera do Depósito de João Pereira são:

Hematita Friável (HF): as hematitas friáveis formaram-se a partir da ação do intemperismo (lixiviação de sílica sobre itabiritos) de níveis mais susceptíveis devido à sua composição mineralógica (presença de carbonatos e/ou anfibólios) ou a presença de estruturas que facilitaram a atuação de seus processos. Estas hematitas tendem a concentrar-se em zonas mais deformadas, como zonas de cisalhamento e flancos de dobras, onde a percolação de água foi facilitada pela presença de descontinuidades como fraturas e foliações tectônicas. A menor granulometria, resultante da recristalização dinâmica, gera uma maior superfície de contato, o que também favorece

a lixiviação de sílica. Os corpos de hematita friável do depósito de João Pereira apresentam teor médio de ferro de 65,2% e 23,3% em média de partículas retidas em malhas de 6,3 mm. Ocorre geralmente em contato com as hematitas compactas (HC) e itabiritos friáveis ricos (IFR), onde se observa uma quebra brusca no teor de ferro. Nas hematitas friáveis ocorrem predominantemente hematitas martíticas, magnetita e especularítica nas áreas mais deformadas. As hematitas friáveis são bandadas, apresentando intercalações de bandas e lâminas caracterizadas por maior ou menor porosidade ou por níveis mais ricos em hematita (ocasionalmente hematita compacta).

Hematita Compacta (HC): as hematitas compactas ocorrem na forma de corpos lenticulares normalmente associados aos corpos de hematita friável, preferencialmente ao longo do contato NW (“footwall”) dos itabiritos da Formação Cauê com os filitos do Grupo Piracicaba e em um nível localizado aproximadamente no centro da mina de João Pereira. Em ambos os casos, as hematitas compactas encontram-se associadas com hematitas friáveis e itabiritos friáveis ricos em contatos abruptos, sendo que a espessura aparente dos corpos lenticulares varia de poucos m a até cerca de 25 m, com teor médio de ferro de 66,3%. Possuem estrutura maciça ou foliada com média de 71,6% das partículas acima de 6,3 mm. Mineralogicamente, esse litotipo é composto por kenomagnetita, martita, hematita e especularita.

Hematita Argilosa (HAR): trata-se de um litotipo mais hidratado de hematita, onde é comum a ocorrência de hematita martítica meteórica e da goethita. Apresentam teor médio de ferro de 62,1% e altos teores de fósforo (0,075% em média) e/ou alumina (3,0% em média) e/ou perda ao fogo (4,7% em média), ocorrendo principalmente como corpos lenticulares, friáveis, concordantes com a estruturação geral e freqüentemente com tons avermelhados e amarronzados.

Itabirito Friável (IF): formado pela desagregação supergênica de itabiritos compactos, os itabiritos friáveis compõem o maior volume de materiais encontrados nessa área, com teores médio de ferro de 40,7% e 21,3% em média de partículas retidas em 6,3 mm, baixos teores de contaminantes e espessuras aparentes que podem alcançar mais de 300 m. Nesse litotipo é facilmente observado intercalações de hematitas com quartzo que variam entre 0,3 e 15 centímetros.

Itabirito Friável Rico (IFR): consistem em itabiritos friáveis com teor médio de ferro de 57,1% e baixos teores de contaminantes. Distingue-se dos itabiritos friáveis (IF) pelos teores bem mais elevados de ferro, ocorrendo em meio aos itabiritos friáveis e hematitas friáveis. Apresenta média de 18,2% de material maior que 6,3 mm e espessuras aparentes de aproximadamente 30 m.

Itabirito Compacto (IC): são corpos maciços que predominam nas partes mais profundas da mina, embora corpos pequenos, métricos e decamétricos podem ser encontrados em meio aos itabiritos friáveis. O teor de ferro médio é de 38,3%, embora existam corpos com teores de até 62,1% de ferro. Distingue-se dos itabiritos friáveis por apresentar em média 66,9% de partículas acima de 6,3 mm.

Itabirito Argiloso (IAR): constitui de itabirito hidratado, rico em goethita, caracterizado pelos altos teores de alumina (3,4% em média) e teor médio de ferro de 49,8%. Também ocorre com teores mais elevados de fósforo (0.118% em média) e/ou perda ao fogo (5.2% em média). Apresenta-se friável (média de 20,7% de material maior que 6,3 mm), em lentes em meio aos itabiritos friáveis ou próximos a hematitas argilosas e abaixo dos rolados e das cangas (mais superficiais), com espessura aparente em torno de 20 m. Nestes itabiritos podem ser encontrados níveis centimétricos mais ricos em argila, de cor amarelada a ocre, contendo cristais prismáticos submilimétricos e pseudomorfos de goethita em anfibólios.

Itabirito Manganífero (IMN): estes corpos caracterizam-se por altos teores de manganês (4,5% em média). No IMN podem ocorrer níveis de coloração marrom escuro, com aspecto tipo “borra de café”. Apresenta-se friável e com espessura aparente variável entre poucas dezenas a até 100 m.

Quartzito Ferruginoso (QF): corpos friáveis, normalmente bastante intemperizados que ocorrem nas porções mais centrais e basais da Formação Cauê. Esta unidade é caracterizada por teores médios muito baixos de ferro (28.5%) e por serem friáveis (média de 18.5% maior que 6,3 mm). Ocorrem tanto de forma lenticular como em corpos um tanto disforme, comumente localizados abaixo dos IF.

Canga (CG): consiste em depósitos sedimentares formados por blocos ou até matacões de itabiritos e/ou hematitas, sustentados por uma matriz na fração areia grossa a silte,

formada por fragmentos de itabiritos e cimentada por hidróxidos de ferro. Possui diversos graus de resistência mecânica, podendo variar de friáveis a compactos. Os teores em ferro também variam muito, podendo até atingir valores similares aos das hematitas. São materiais bastante hidratados, com valores de perda ao fogo relativamente altos. Ocorrem na superfície, estratigraficamente abaixo de solo (acima dos rolados), recobrimo a formação ferrífera e apresentando espessura que varia de poucos decímetros a cerca de 30 m. Tem alto teor médio de Fe (57,4%), mas também teores médios de fósforo altos (0.115%) e alumina (6,0%).

Rolado (RO): diferem da canga por apresentarem-se de forma mais desagregada e deformada, com predomínio de seixos e matações mais arredondados, formados por fragmentos de itabiritos/hematitas e matriz não consolidada de argilominerais. Ocorrem estratigraficamente abaixo de solo e canga, recobrimo a formação ferrífera e apresentando espessura que varia de poucos decímetros a cerca de 30 m. Tem teor médio de ferro de 55,6%, teores médios de fósforo altos (0.120%) e/ou alumina (6.4%);

Solo (SO): solo natural ou depósitos lateríticos sedimentares que podem atingir espessuras superiores a 45 m. Geralmente os depósitos lateríticos apresentam-se homogêneos, maciços, sem acamamento visível. Nos níveis superiores, mais oxidados, as lateritas apresentam cores avermelhadas e matriz argilosa, em meio a qual aparecem clastos angulosos isolados de quartzo e, mais raramente, itabiritos. Já na base dos depósitos lateríticos, ocorrem níveis conglomeráticos, com clastos angulosos de itabirito e hematita compacta.

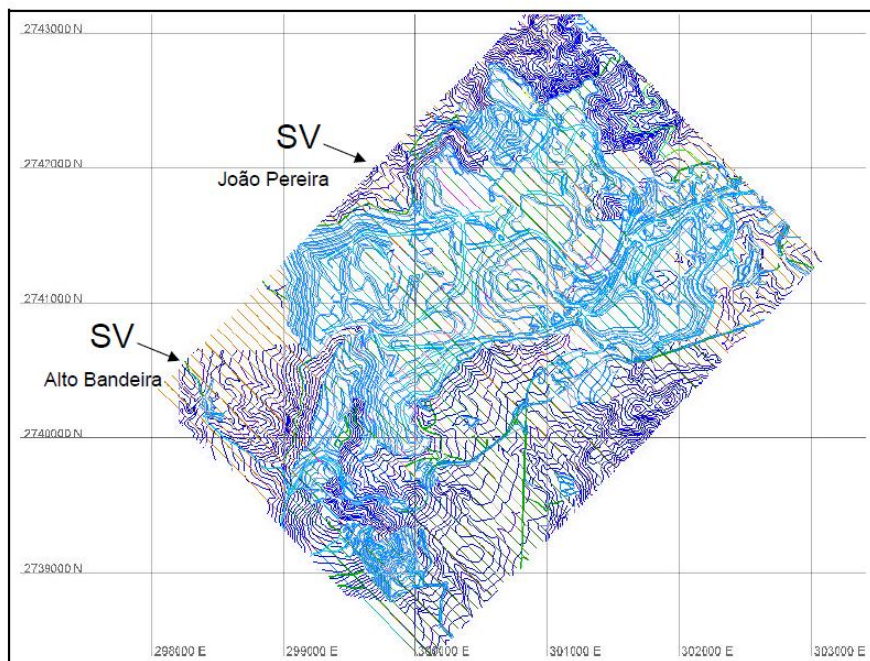
Os litotipos modelados foram classificados a partir da descrição visual dos materiais na mina e/ou nos testemunhos de sondagem, gerando uma classificação visual. Estes litotipos são classificados também de acordo com sua caracterização química e granulométrica, conforme tabela 1.

**Tabela 1: Teores de Corte dos Litotipos Utilizados no Modelo Geológico**

TIPOS	LITOTIPO:	Fegl %	Pgl %	Algl %	Mngl %	Pfgl %	G1 %	Cagl %	Mggl %
HEMATITAS	HC	>= 63	< 0.12	< 2.5	< 2	< 4	>= 50	< 2	< 2
	HF	>= 63	< 0.12	< 2.5	< 2	< 4	< 50	< 2	< 2
	HAR	>= 60	>= 0.12	>= 2.5		>= 4		< 2	< 2
	HMN	>= 60	< 0.12	< 2.5	>= 2	< 4		< 2	< 2
ITABIRITOS	IFR	>= 53 e < 63	< 0.12	< 2.5	< 2	< 4	< 50	< 2	< 2
	IF	>= 33 e < 53	< 0.12	< 2.5	< 2	< 4	< 50	< 2	< 2
	IAR	>= 33 e < 60	>= 0.12	>= 2.5		>= 4	< 50	< 2	< 2
	IMN	>= 33 e < 60	< 0.12	< 2.5	>= 2	< 4	< 50	< 2	< 2
	IDO	DESCRIÇÃO						>= 2	>= 2
	IC	< 63					>= 50		
COBERTURAS	QF	< 33							
	CG	DESCRIÇÃO							
	RO	DESCRIÇÃO							
ENCAIXANTES	SO	DESCRIÇÃO							
	DO	DESCRIÇÃO							
	XI	DESCRIÇÃO							

Os litotipos são modelados a partir da compatibilização da classificação visual dos litotipos e das suas características químicas e granulométricas e recebem a classificação interpretada.

Os contatos entre os tipos de formação ferrífera são, geralmente, bem marcados, apresentando diferenças bruscas nos teores que definem o litotipo. O mapa de localização das seções verticais segue é visualizado na figura 4.



**Figura 4: Mapa de Localização das Seções Verticais**



As figuras 5 e 6 representam as seções geológicas típicas das regiões de Alto Bandeira e João Pereira, onde pode ser observada a diferença de teores entre os litotipos.

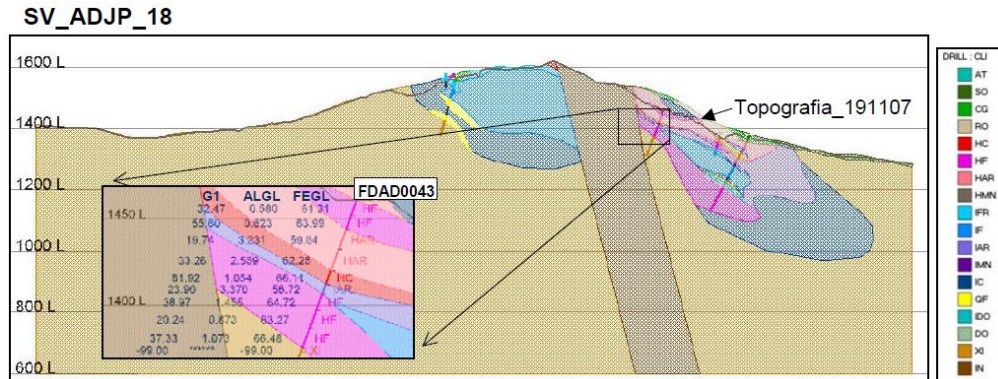


Figura 5: Seção Vertical Tipo da Região de Alto Bandeira.

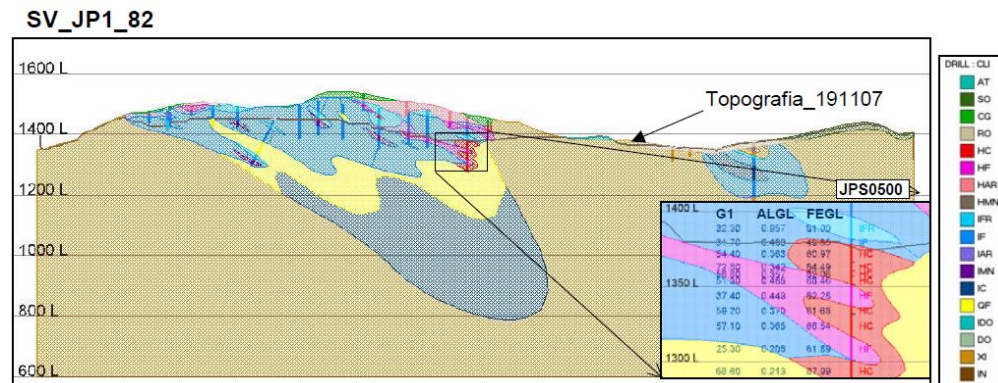


Figura 6: Seção vertical Tipo da Região de João Pereira.

### 3.2. Produção de Minério de Ferro na VALE

A produção de minério e pelotas da VALE está inserida em três sistemas integrados de produção, situado no Brasil, conforme figura 7:

- no Sistema Norte a produção é realizada nas minas situadas em Carajás e transportada pela Estrada de Ferro Carajás até o porto marítimo de Ponta da Madeira.
- no Sistema Sul a produção é realizada em minas situadas ao sul do Quadrilátero Ferrífero e transportada pela ferrovia MRS Logística até os



portos marítimos de Itaguaí e Guaíba no estado do Rio de Janeiro e pela Ferrovia Vitória Minas até o porto de Tubarão no estado do Espírito Santo.

- no Sistema Sudeste a produção é realizada em minas situadas ao sudeste do Quadrilátero Ferrífero, transportada pela ferrovia Vitória Minas até o porto de Tubarão. Atualmente este sistema contempla a produção das minas de Urucum e Corumbá, localizadas no estado do Mato Grosso do Sul.



**Figura 7: Sistema Produção VALE**

### ***3.3. História da Mina Fábrica - VALE***

A Mina Fábrica está localizada no Estado de Minas Gerais, na região sudeste do Brasil. Esta mina está inserida no Complexo Itabiritos que pertence ao Sistema Sul da VALE.

A distância entre a Mina Fábrica e Belo Horizonte é de 70 km, sendo interligadas pela estrada BR – 040.

Fundada em 1812, sob a liderança de Wilhelm Ludwig, Barão de Eschwege, a Mina Fábrica, então chamada de Fábrica Patriótica, foi a primeira a iniciar a produção de minério de ferro em escala industrial no Brasil, com uma produção anual de 18 toneladas. Inicialmente, o minério era destinado à produção de ferraduras e pregos. As operações foram paralisadas em 1820.

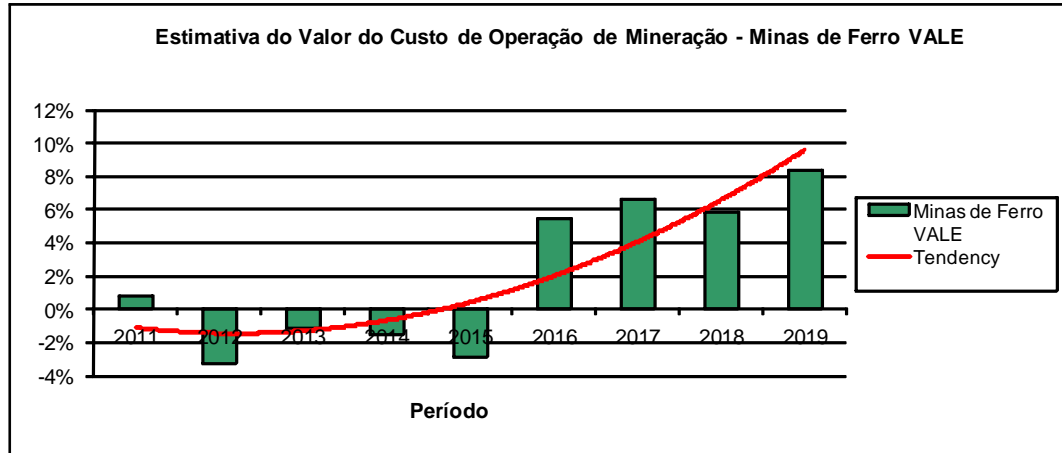
Em 1923, através de um acordo entre empresas alemãs produtoras de aço, a Mina Fábrica retornou às operações com o nome de Companhia de Mineração de Carvão e posteriormente, Ferteco Mineração. Em 1º de setembro de 2003 a empresa foi incorporada à VALE.

Atualmente existem duas principais minas: João Pereira e Segredo, ambas lavradas a céu aberto por bancadas. O site possui duas instalações de tratamento de minérios e uma usina de pelotização. A produção de minério de ferro é de 12 milhões de toneladas por ano, sendo escoada para os portos de Tubarão (Estrada de Ferro Vitória a Minas) e Itaguaí (MRS Logística).

### ***3.4. Conceitos Operacionais e Econômicos***

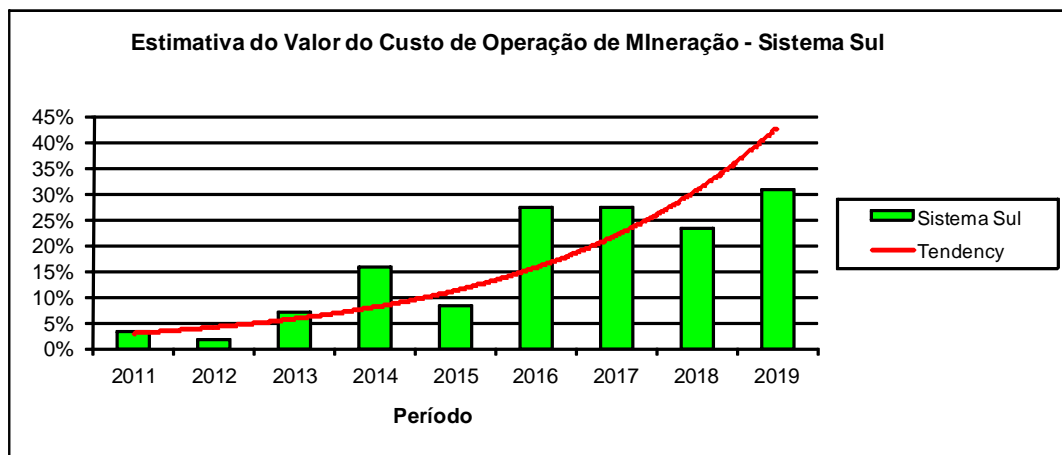
Os custos operacionais de mineração da VALE tem uma tendência de aumento nos próximos anos (VALE, 2010), conforme é mostrado na figura 8 para o ano 2011, sendo tendência no período de 2016 a 2020. Este aumento dos custos está diretamente relacionado ao aumento dos preços de óleo diesel, pneus de caminhões de grande porte, mão de obra e custos de manutenção de equipamentos. Outro fator colaborativo é o aumento da distância média de transporte (DMT) de ROM.

No início de 2006 os fornecedores de pneus apresentaram um cenário de produção desfavorável, que levou as empresas de mineração a enfrentarem complicações com a aquisição destes insumos, tendo como consequência direta uma subida geral de preços, atrasos na entrega dos produtos e, no geral, longos períodos para poder dispô-los em projetos ou operações. Apesar de o cenário ter modificado, ficou instalado o risco e a insegurança associados à compra deste insumo (VALE, NCL, 2010).



**Figura 8: Tendência do Custo Operacional de Mineração da VALE**

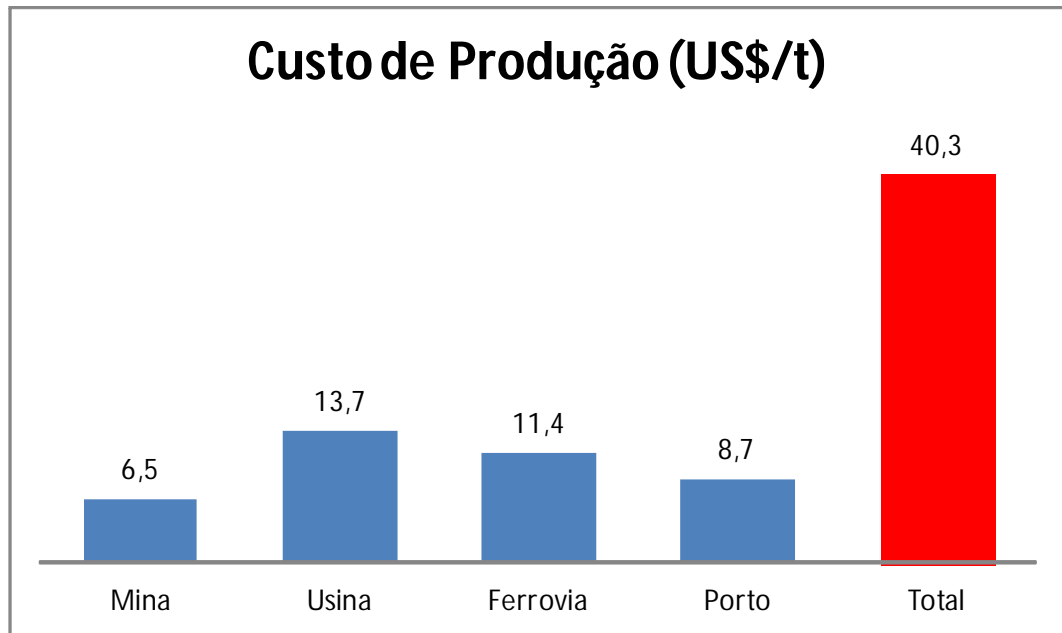
O Sistema Sul da VALE tem o pior cenário em relação a tendência de alta dos custos operacionais de mineração entre as minas de minério de ferro da empresa. A figura 9 mostra a elevação dos custos operacionais deste Sistema da VALE tendo aumento significativo de 35% no período entre 2010 e 2019. Este cenário ressalta a importância do desenvolvimento de estudos e a implantação dos mesmos para o combate à tendência de altos valores de custos operacionais de mineração.



**Figura 9: Tendência do Custo Operacional de Mineração - Sistema Sul**

Os custos de produção de minério de ferro possuem variações de acordo com a especificidade de cada mina, dependendo do tipo de transporte de ROM, processamento

mineral, embarque de produtos e frete marítimo. A figura 10 mostra a composição dos custos de produção médio das minas de minério de ferro das principais produtoras do mundo. O custo com frete marítimo não está inserido na figura pois dependerá da localização da mina em relação com o cliente.



**Figura 10: Custo de Produção Minério de Ferro**

Em minas a céu aberto, o custo da operação de transporte representa em cerca de 60% do custo operacional de mineração, sendo que em muitas minas, este custo pode ser ainda maior (Hartman, 1992).

Para minimizar os custos de transporte de operação de mina, podem ser estudadas duas opções. A primeira é aumentar a capacidade da frota de caminhões fora de estrada e a segunda se trata da implementação de um sistema de transporte por correias. A primeira opção envolve mudanças geométricas nas minas. As vias de acesso também devem ser alteradas, o que pode inviabilizar tecnicamente o aumento da capacidade da frota dos caminhões (VALE, 2009). A segunda opção pode trazer uma redução significativa nos custos de transporte, trazendo o ponto de descarga do equipamento de carga para dentro da mina, associado a uma redução de partículas para adequar a granulometria do

material a ser transportado pelas correias transportadoras (Zimmermann e Kruse, 2006). O aumento na produtividade possibilitará ganhos econômicos.

A tabela 2 apresenta um comparativo entre algumas vantagens e desvantagens do transporte convencional por caminhões e o uso de correias transportadoras

**Tabela 2: Comparação entre o Transporte de ROM por Caminhões Fora de Estrada e Correias Transportadoras**

<b>Caminhões</b>	<b>Correias Transportadoras</b>
<b>Vantagens</b>	
1 – Baixo custo de investimento 2 – Maior flexibilidade para mudança de frente de lavra 3 – Indicados para curtas distâncias 4 – Possibilidade de transportar material com granulometria variada	1 – Indicados para longas distâncias 2 – Possui alta capacidade de transporte 3 – Possibilita alta disponibilidade 4 – Baixos custos de operação e manutenção 5 – Produção contínua 6 – Facilmente estendida 7 – Correta alternativa ambiental
<b>Desvantagens</b>	
1 – Altos custos de operação e manutenção 2 – Alto número de equipamentos de grande porte 3 – Elevado número de mão de obra 4 – Alto custo na manutenção de pistas e acessos 7 – Segurança limitada para o operador	1 – Alto custo de investimento 2 – Menor flexibilidade para mudanças de frente de lavra 3 – Limitação granulométrica do material a ser transportado

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.

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

transportadores de correias oferecem uma alternativa atraente. 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. Os conceitos discutidos aqui não são aplicáveis para todas as minas, pois cada operação tem suas peculiaridades e suas características específicas que as diferenciam (IMC, 1985).

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 e Kruse, 2006).

A lavra por correias, exige um sequenciamento de bancos essencialmente contíguos, e quando estas circunstâncias estão disponíveis, produzem custos operacionais muito baixos. Sempre que possível, o planejamento de bancos em linha reta é particularmente favorável para a lavra contínua. Isto não significa que o avanço da frente da lavra tem necessariamente de ser paralelo, podendo a faixa de deslocamento dos transportadores ser no formato de um arco (Morrison, 2008).

Quando há necessidade de uma britagem, no caso de minérios não friáveis, os sistemas de transporte de correias funcionam muito bem, promovendo redução nos custos operacionais, para aquelas situações onde os britadores dos transportadores de correias não sofrem mudanças constantes de localização. Quando se faz necessário relocar o sistema, estas mudanças devem ser bem planejadas a curto, médio e longo prazo, para

que não ocorra imprevistos que possam interferir na produção. A situação ideal seria uma operação de lavra não seletiva, com planejamento em avanço horizontal das bancadas, operando no máximo dois bancos ao mesmo tempo com largura mínima de praça de 100 m. Minas com geometria restrita, de alta seletividade, com lavra restritiva, múltiplos bancos em operação e largura estreita das bancadas não oferecem as condições adequadas de operação para a lavra contínua. Estes problemas poderiam ser contornados com a utilização de mais de um sistema atendendo a mesma mina, com operações independentes por bancada. Todas estas interferências devem ser consideradas, pois os tempos de deslocamentos dos equipamentos não são tão curtos implicando em queda da produtividade (Zimmermann e Kruse, 2006).

O sistema de transporte por correias é mais viável para projetos em implantação ou para a expansão de uma mina já em operação. Se a mina já existe, um estudo para avaliação da implantação do sistema de transporte contínuo é necessário, e o sistema precisa ser adaptado para a configuração particular de cada mina sem grandes modificações no desenho da cava. Isso geralmente representa uma avaliação econômica e operacional entre modo de operação atual e o sistema proposto de transporte por correias, que em muitas situações é mais viável. Normalmente existem alterações de desenho da cava que podem ser feitas para melhorar a geometria da mina, a fim de otimizar o *layout* da cava, minimizando os pontos de transferência e maximizando o tempo de transporte (Turnbull e Cooper, 2010).

A lavra contínua vem sendo aplicada para minérios friáveis, resultando em baixos custos operacionais. Atualmente está sendo usada também para minérios mais competentes, pois já existem no mercado britadores de alta tecnologia, móveis e semi móveis do tipo “sizers”, com crescente maturidade tecnológica, desenvolvidos para grandes escalas de produção.

A seleção do modo de transporte para movimentação de materiais não é uma tarefa simples, pois há diversos questionamentos e considerações aplicadas à seleção do modo mais prático e de baixo custo operacional. Segundo Richardson e Conder (2004), os principais fatores que influenciam nesta decisão são:

- opções de rotas para os tipos de transporte analisados
- capacidade técnica (produtividade, t/h)

- custos de compra e instalação (CAPEX)
- custos operacionais e de manutenção (OPEX)
- prazo de entrega dos equipamentos

Desde 1956 estão sendo fabricadas plantas semimóveis de britagem para atender as minerações a céu aberto de calcário, carvão e minerais metálicos. Mas foi a partir de 1990 que as vantagens de operação com britagem dentro da cava, associada a um sistema de correias sobressaíram em função do aumento constante dos custos operacionais dos caminhões (Casteel, 2010).

Os principais fornecedores das plantas semimóveis líderes de mercado, são:

- ThyssenKrupp Fördertechnik (TKF, Alemanha)
- Tenova TAKRAF (Alemanha/Itália)
- Sandvik (Suécia)
- Metso (Finlândia)
- P&H (EUA)
- MMD Sizers (Inglaterra)

Dos fornecedores listados acima, a ThyssenKrupp Fördertechnik (TKF), Tenova TAKRAF, Sandvik e P&H oferecem a linha completa ou quase completa de todos os equipamentos que fazem parte de um sistema de transporte contínuo. A Metso e a MMD são mais fortes nas áreas de equipamentos de britagem e correias transportadoras.

Os principais equipamentos que compõem um sistema de transporte contínuo são:

- escavadeiras hidráulicas (backhoe),
- carregadeiras frontais,
- shovels,
- mineradores contínuos.

Tipicamente as carregadeiras frontais operam para taxas de até 2.000 t/h. Para produções maiores são indicadas as escavadeiras hidráulicas, *shovels* ou os mineradores contínuos para altas movimentações de material friável. O que diferencia na operação



destes equipamentos é o posicionamento do equipamento de carregamento em relação ao ponto de descarga. As escavadeiras hidráulicas e as *shovels* operam num nível mais alto que o ponto de descarga, em cima do material desmontado. A vantagem disso é o controle realizado pelo próprio operador da escavadeira sobre a granulometria da alimentação. Já as carregadeiras necessitam de uma rampa de apoio para alcançar o ponto de alimentação. Os mineradores contínuos não possuem nenhum tipo de restrição para o ponto de carregamento

Antes de ser transportado, se não for friável, o material necessita ser fragmentado ao tamanho requerido para o transporte por correias. As maiores partículas que têm sido transportadas por correias estão na ordem de 350 a 450 mm (Sprigg, 2005).

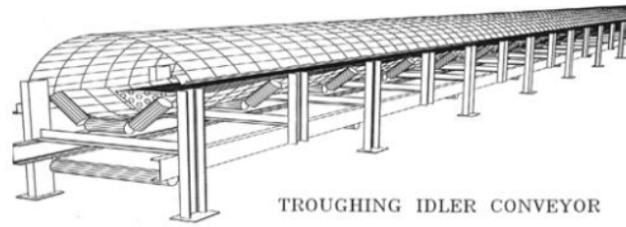
Os alimentadores da britagem devem possuir capacidade de absorver os picos de alimentação e também grande porcentagem de finos, que devem ser identificados através da análise da curva de distribuição granulométrica da alimentação da britagem através de testes específicos. Para obter uma taxa maior de alimentação, os britadores podem ser adaptados com dois alimentadores (Schröder, 2003).

Um transportador de correia consiste num dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente), em curvas (côncavas ou convexas) ou não, ou uma combinação desses perfis, destinado à movimentação de materiais a granel. O transporte é feito por uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre tambores, roletes ou mesas de deslizamento. O equipamento é empregado no manuseio de diversos tipos de materiais, podendo fazer parte de um sistema complexo automatizado.

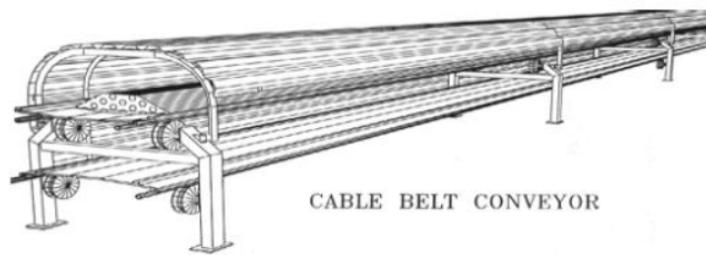
Segundo Richardson e Conder (2004), há principalmente quatro tipos de correias utilizadas no transporte para a mineração:

- correias convencionais (*troughed idler belt conveyor*), figura 11
- correias à cabo (*cable belt conveyor*), figura 12
- correias em tubo (*pipeline conveyor*), figura 13
- correias de alta inclinação (*high lift conveyor*), figura 14

Destas principais correias podem surgir outras variantes, como por exemplo, as correias *sandwich*, correias *two ways*, etc., que são destinadas para aplicações específicas.



**Figura 11: Correias Convencionais**



**Figura 12: Correias à Cabo**



**Figura 13: Correias em Tubo**



**Figura 14: Correias de Alta Inclinação**

As correias podem ser classificadas ainda de acordo com a sua mobilidade em correias fixas, correias semimóveis e correias moveis. As correias fixas são correias montadas em estruturas fixas e são as mais empregadas para transportadoras de correias de longa distância (TCLD's ou *overlands*), e também para os casos de britagem no *pit*, onde as correias não sofrerão relocações. Quando *in pit*, são conectadas às correias de bancadas. Necessitam de acionamentos elétricos mais capacitados e tapetes de maior resistência e sua automação é mais elaborada pelo fato se na maioria das vezes possuem comprimentos longos. Podem operar com velocidades mais altas.

As correias semi-móveis são aquelas denominadas correias de bancada, e são relocadas periodicamente de acordo com o planejamento das frentes de lavra e mudanças de bancadas da lavra. São projetadas para serem versáteis, móveis e de fácil transporte. Montadas em estruturas móveis modulares de aço, podem ser deslocadas com facilidade, otimizando o processo de lavra. Os acionamentos são menores, os tapetes são de menor resistência e a automação é reduzida.

A tabela 3 mostra diferentes tipos de britagem. O estudo das características físicas e químicas do minério é essencial para a escolha do britador, evitando baixa produtividade e altos custo de manutenção.

**Tabela 3: Principais Características dos Britadores**

<b>Principais Características dos Britadores</b>						
<b>Britador</b>	<b>Capacidade Máxima (t/h)</b>	<b>Dureza do Material (Mpa)</b>	<b>Tamanho Alimentação (mm)</b>	<b>Raz ão Esmagamento</b>	<b>Máximo % Quartzo</b>	<b>Quantidade de Água (%)</b>
<b>Martelo</b>	4000	100	2000	1:70	3	10
<b>Fluxo Contínuo</b>	3000	50	1200	1:5	3	10
<b>Duplo de Rolos</b>	7000	100	1800	1:7	10	25
<b>Impacto</b>	2000	150	2500	1:30	10	10
<b>Mandíbula</b>	1500	350	2000	1:6	Sem Limite	5
<b>Giratório</b>	10000	250	2500	1:6	30	5

Basicamente três sistemas de britagem devem ser consideradas para a implantação de correias transportadoras: britador fixo, britador semi-móvel e britador móvel. Todas estas configurações podem ter muitos tipos de equipamento de britagem. Os britadores de mandíbulas e os giratórios são os mais comumente empregados mas atualmente os britadores de rolos e tipo *sizers* estão sendo bem empregados para rochas de alta dureza. As correias móveis são aquelas instaladas na praça de operação de lavra e são conjugadas com as correias de bancada, oferecendo um sistema totalmente flexível. Este tipo de correia possui um limite de comprimento de acordo com o modelo do fabricante. Como exemplo, as correias móveis da Metso (lokolinks), possuem 35 m de comprimento cada e podem operar com no máximo três em conjunto.

A alimentação da britagem primária é realizada com o material descarregado nos chutes de alimentação e a passagem do material, produto da britagem primária, para as correias é feita através de um sistema de transferência que une os dois conjuntos.

Ao contrário dos caminhões, as correias não perdem em produtividade com o aumento da distância de transporte. A capacidade de correias transportadoras é limitada pela velocidade de acionamento, largura da correia e tipo de material transportado.

O tamanho máximo de partícula que deve ser transportada pelas correias é de 1/3 da largura da correia (Zimmermann e Kruse, 2006).

Nesses equipamentos a segurança operacional é um item fundamental em todas as etapas, desde o fluxo de descarga do material, reologia da borracha, até os sistemas de controle e instrumentação (Minérios & Minerales, 2008).

Para os transportadores de longa distância, a melhor opção é o *Cable Belt*, onde as esteiras alcançam distâncias superiores a 20 km em um único lance e podem ser instaladas em terrenos com acentuados aclives, declives, curvas côncavas, convexas e

laterais, sendo que podem conseguir curvas extremamente reduzidas quando comparadas com transportadores convencionais.

Os equipamentos que trazem maior conteúdo tecnológico para os transportadores de longa distância, são os do tipo tubular, que permitem curvas horizontais, verticais e combinadas.

Com a necessidade de transporte com capacidades cada vez maiores, a viabilidade do equipamento passa pela utilização de velocidades também maiores, exigindo o uso de componentes com baixos coeficientes de atrito, correias especialmente construídas e sistemas de controle de alta confiabilidade.

Um sistema de correias ideal é aquele que apresenta o mínimo de pontos de transferência, otimizando o processo de transporte.

A utilização de um sistema de transportadores contínuos permite que as correias possuam gradientes de 25%, ou até maior que isso em alguns casos específicos, o que não é operacional e nem econômico para o transporte via caminhões, onde o gradiente das rampas não passa de 10% em uma operação a céu aberto (Morrison, 2007). As correias podem ainda gerar fonte de energia em trajetórias descendentes.

A tabela 4 apresenta comparativo entre opções de correias de acordo com o seu grau de inclinação, custos de investimentos e flexibilidade.

**Tabela 4: Dados Comparativos Entre Opções de Correias (Sandvik)**

	Correia Rampa Inclinada	Correia em Túnel	Correia em Estrada
Ângulo Correia (°)	<18	<10	<6
Custo de Capital	Intermediário	Alto	Baixo
Flexibilidade	Intermediário	Baixo	Alto

A seguir são especificados alguns equipamentos complementares e auxiliares às correias transportadoras e sistema de britagem.

#### *Belt wagon*

Este equipamento permite que a estação de britagem primária fique instalada acima ou abaixo da bancada onde estão os transportadores, pois ele faz a transferência de material

da britagem até os transportadores envolvendo dois níveis diferentes de bancada. É um sistema móvel de correia que faz transferências de um ponto a outro que estejam no mesmo nível ou em níveis diferentes.

#### *Hopper car*

É uma caixa de transferência, geralmente aplicado quando a correia tem um ponto de transferência para outra correia, onde muda a direção de transporte. É um chute de descarga para transferências montado sobre um trilho de aço para facilitar a sua movimentação.

.

#### *Cable reel car*

Equipamento de apoio que carrega os cabos de energia para sistema de transportadores, geralmente montado sobre trilhos e ligado ao *hopper car*. Geralmente é dimensionado com capacidade para transportar um cabo que possua comprimento igual à metade do comprimento do transportador que ele atende.

#### *Tripper*

O tripper é um equipamento que pode descarregar material em qualquer ponto ao longo da correia. É um equipamento auxiliar e móvel.

#### *Spreader*

Este equipamento recebe o material que vem dos transportadores contínuos para depositar na pilha de estéril. Montados sobre transportadores de esteira, circula em forma ascendente e descendente na pilha de estéril, conformando a mesma. Recebe e descarrega o estéril na pilha.

#### *Stacker*

São os equipamentos de formação de pilhas de minério, muito utilizados nos pátios de homogeneização e de embarque de minérios.

### *Crawler*

Os *crawlers* são os mecanismos de transporte para os equipamentos, tanto para as correias, estações de energia, britadores semi-móveis e outros. Os *crawlers* podem se movimentar sobre esteiras ou sobre pneus. É uma máquina a diesel e consiste de uma unidade fixa ligada a um quadro de giro completo, com engrenagem de elevador hidráulico e alavancas de fixação.

### *Equipamentos Auxiliares*

Com a utilização de transporte contínuo numa operação de lavra, os equipamentos auxiliares de manutenção de vias de acesso, limpeza, e conformação das pilhas de estéril reduzem bastante.

Os equipamentos principais para atender ao sistema de transporte contínuo são: tratores de esteira para auxiliar o *spreader* na conformação das pilhas de estéril, tratores de pneus para limpeza das praças e caminhões pipa para o controle de poeira.

O dimensionamento da frota de equipamentos auxiliares depende da situação operacional: se a mina já está em operação e possui frota de equipamentos auxiliares que pode atender o sistema de transporte contínuo sem a necessidade de compra de novos equipamentos, ou se a mina está em fase de abertura ou em projeto e necessita de um dimensionamento dessa frota. Depende também da movimentação anual dimensionada pela operação.

### Conceitos Operacionais

Existem dois tipos principais de configurações de sistema para o transporte contínuo: correias *in pit* ou correias *ex pit* (fora do pit).

A configuração do sistema depende principalmente se o material é friável ou necessita de britagem antes de ser transportado. Se o material for friável ele pode ser lavrado pelo equipamento de carregamento (escavadeiras) e transportado diretamente pelas correias ou por caminhões até a britagem primária (fixa *ex pit* ou semi móvel *in pit*). Se o material não é friável, ele é detonado, carregado em um britador primário (móvel), ou carregado nos caminhões e transportado até a estação de britagem primária (fixa *ex pit* ou semi-móvel *in pit*).

A maior parte dos sistemas de transporte contínuo necessita de um equipamento de britagem que pode ser classificado como móvel, semi-móvel ou fixo. A Tabela 5 (Sandvik, 2010) apresenta um comparativo desta classificação de acordo com algumas características específicas do equipamento como: produtividade (t/h), dependência do transporte via caminhões, tipo de britador e custos.

**Tabela 5: Classificação dos Britadores de Acordo com sua Mobilidade**

	<b>Móvel</b>	<b>Semi- Móvel</b>	<b>Fixo</b>
<b>Rendimento (t/h)</b>	<10.000	<12.000	<12.000
<b>Quantidade de caminhões</b>	-	Baixo	Intermediário
<b>Tipo Britador</b>	Sizers, Mandíbula e Rolos	Todos	Todos
<b>Custo Operacional Britagem</b>	Alto	Intermediário	Baixo

### Britador fixo

Geralmente, o britador fixo não está localizado no interior da cava, mas na borda da cava ou a uma curta distância da mesma. O material é transportado por caminhão até a planta de britagem e, em seguida, é transportado por correias transportadoras até à planta de beneficiamento.

Vantagens:

- Redução da distância de transporte;
- Os caminhões podem substituir temporariamente as correias caso haja algum problema;
- Maior flexibilidade;
- Sistema de fácil implementação;
- Pode ser adaptado para as operações existentes, sem alterações geométricas de cava.



Desvantagens:

- O sistema permanece fixo no mesmo lugar durante vários anos;
- Altos custos associados a relocação do equipamento, caso necessário;
- Interferência com o planejamento de lavra.

### Britador semimóvel

Neste caso, a planta de britagem é localizada dentro do limite de cava, sendo necessário que a alimentação desta planta seja realizada por caminhões fora de estrada. O britador semi-móvel deve ser relocado regularmente, de acordo com o planejamento de lavra. O material é transportado por correias transportadoras do britador até a planta de beneficiamento.

Vantagens:

- Baixa distância de transporte;
- Aumento da segurança da mina;
- Redução da emissão de CO<sub>2</sub>;
- Os caminhões podem temporariamente substituir a correia transportadora em caso de problemas operacionais;
- É possível adaptar às operações existentes algumas reconfigurações da cava e possíveis mudanças a longo prazo.

Desvantagens:

- Necessita um período de relocação;
- Interferência com o planejamento de lavra, pois o sequenciamento depende da locação do britador.

### Britador móvel

Sistema totalmente móvel, em que os equipamentos de carga alimentam diretamente o britador, eliminando todos os caminhões. Após a britagem do material o mesmo é transportado via correias transportadoras até a planta de beneficiamento.

### Vantagens

- Elimina o transporte por caminhões;
- Aumento da segurança da mina;
- Redução da emissão de CO<sub>2</sub>;
- Baixo custo operacional de mina;
- Flexibilidade de mudança, de acordo com o planejamento de mina.

### Desvantagens

- Alto investimento inicial;
- Caso aconteça algum problema operacional, a produção ficará totalmente dependente do sistema.

### Conceitos Econômicos

Para uma análise econômica do projeto alguns conceitos econômicos são necessários para uma melhor compreensão do trabalho.

O conceito principal para esta comparação é que o sistema de correias possui um menor custo de operação que o custo de operação por caminhão, porém requer em muitos casos altos investimentos que só são possíveis de viabilizar no longo prazo. Caso contrário, os ganhos gerados pelo uso de um sistema que possui um menor custo de operação não poderiam compensar o alto nível de investimento inicial requerido. Deste modo, é necessário comparar:

- opção correias, que possui um CAPEX relativamente maior comparando a um sistema por caminhão, porém com um OPEX de menor valor por tonelada, relacionado com as vantagens de transporte que têm sido mencionadas neste relatório. Em particular, as vantagens se associam diretamente a quantidade de toneladas processadas por este sistema e que não só reflete em termos de tempo mas também em termos de quantidade.
- opção caminhão, que possui um CAPEX relativamente menor comparado a um sistema por correias, mas com um OPEX maior dado a alta influência da

distância de transporte, assim como o percentual do tramo total subindo ou descendo no valor do custo de operação.

O fluxo de caixa é a representação das receitas e despesas, previstas ao longo do tempo, decorrentes da adoção de cada alternativa comparada (Faustini, 2006). Samanez (2002), descreve o fluxo de caixa como as entradas e saídas efetivas de dinheiro ao longo do horizonte de planejamento do projeto, permitindo dessa maneira, conhecer a sua rentabilidade e viabilidade econômica. Esse fluxo é montado com variáveis como preço, produção, investimento, custos e depreciação. O fluxo de caixa descontado é usado na avaliação dos projetos e como definição descontam-se os fluxos de caixa residuais após a realização de todas as despesas operacionais e impostos, mas antes do pagamento de dívidas, pelo *Weighted Average Cost of Capital* (WACC), que é o custo dos diversos componentes de financiamento utilizados pela empresa, com pesos em conformidade com suas proporções de valor de mercado (Damodaran, 1997).

De acordo com Faustini (2006), o WACC é uma taxa de desconto usada na avaliação, representando o custo de oportunidade de capital obtido a partir do custo de dívida, após impostos e do custo de patrimônio. Na literatura econômica, esta taxa também recebe o nome de taxa mínima de atratividade.

Por definição, a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento (Samanez, 2002). A TIR torna o valor presente das entradas de caixa igual ao valor presente das saídas de caixa do projeto de investimento.

Segundo Samanez (2002), o método do valor presente líquido (VPL) tem como finalidade valorar em termos de valor presente o impacto dos eventos futuros associados a um projeto ou alternativa de investimento, ou seja, mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo da sua vida útil.

A análise incremental de uma avaliação econômica é feita através da diferença do fluxo de caixa de duas situações estudadas (Lapponi, 2007). Esta análise se faz necessária sempre quando não se tem um acréscimo de produção. No estudo de caso, a produção foi mantida e foi realizada apenas a comparação entre o transporte de ROM feita por caminhões fora de estrada e por correias transportadoras.

Depois de realizada a diferença entre os fluxos de caixa da alternativa caminhões fora de estrada e da alternativa correias transportadoras, encontrou-se o fluxo de caixa incremental. Posteriormente, foi calculado o fluxo de caixa descontado, o VPL e a TIR. VPL positivo mostra que a substituição de caminhões fora de estrada por correias transportadoras é economicamente viável. Caso contrário, a melhor solução é continuar a realização do transporte de ROM com caminhões fora de estrada.

Embora as estimativas do projeto sejam definidas com bastante cuidado, depois de determinar o VPL esperado que qualifique o projeto para ser aceito é importante questionar este resultado (Lapponi, 2007). A análise de sensibilidade deve ser feita com o intuito de avaliar a vulnerabilidade e possíveis impactos da variação dos principais parâmetros analisados.

#### 4.0. Estudo de Caso da Mina Fábrica

Este estudo incluiu três alternativas comparativas entre dois casos: a utilização de caminhões fora de estrada e de correias transportadoras, variando a posição do sistema de britagem:

- A. Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras;
- B. Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras;
- C. Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.

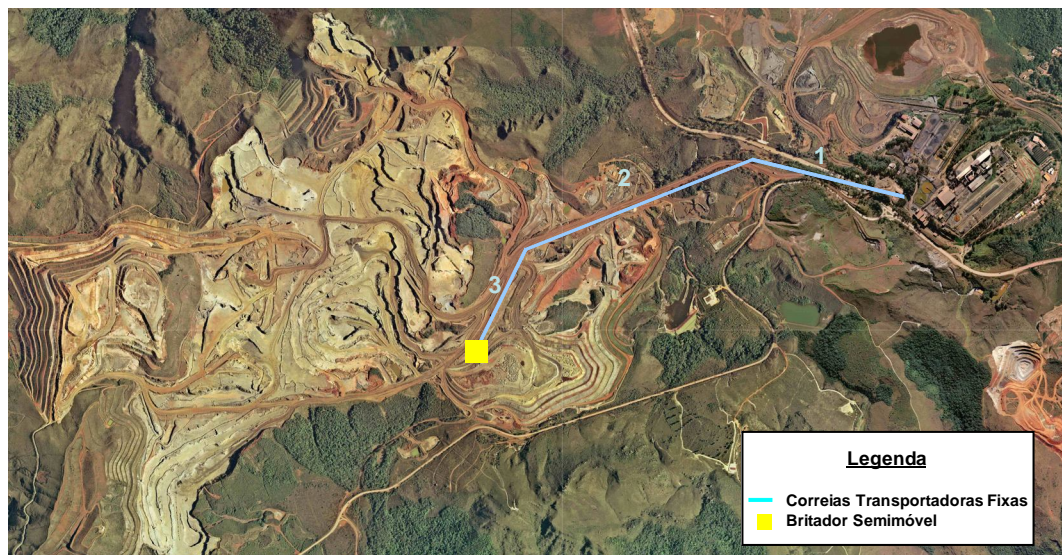
Para todas as alternativas apresentadas, o uso de correias transportadoras foi estudado para o transporte de ROM.

##### A. Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras

Esta alternativa considerou a implantação de um britagem semimóvel entre a cava e a pilha de estéril. Este sistema de britagem necessita de 3.000 t/h de capacidade produtiva, sendo alimentada por uma correia transportadora com 2.500 t/h de capacidade máxima de transporte. O traçado estudado para esta alternativa contém 2.560 m de comprimento e 42” de largura, divididas em três eixos fixos: 1 = 700 m, 2 = 1.260 m, 3 = 600 m.

A implantação desta alternativa de correia transportadora permite reduzir a distância média de transporte (DMT) dos caminhões fora de estrada em aproximadamente 200 m. Quando comparado com caminhão fora de estrada, esta redução de distância média de transporte diminui em cinco caminhões fora de estrada.

A figura 15 mostra um *layout* da alternativa A apresentando a localização do sistema de britagem e das correias transportadoras.



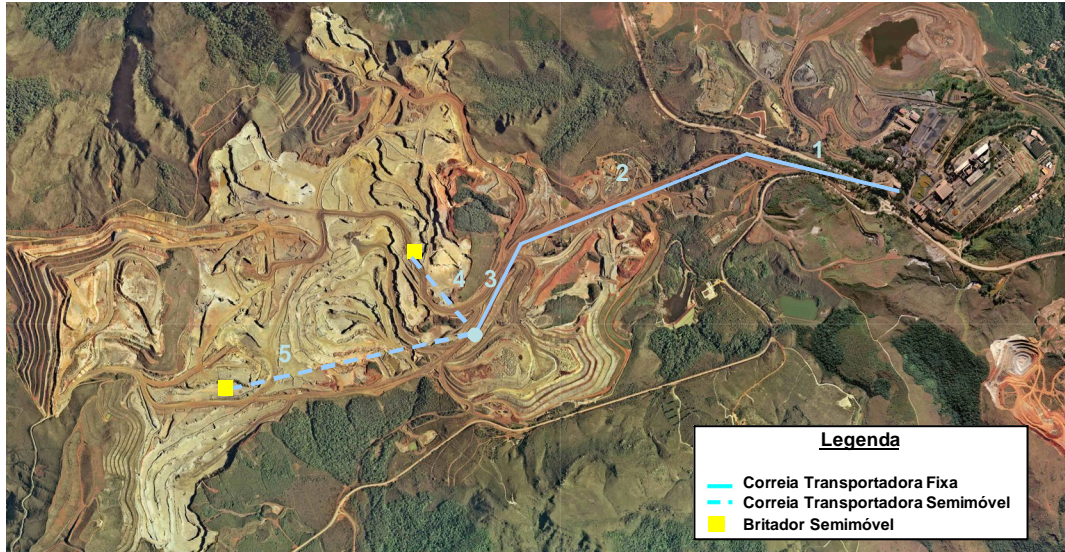
**Figura 15: Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras**

#### B.Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

Esta alternativa considera a implantação de dois britadores semimóveis dentro da cava. É considerada neste caso a capacidade de 1.500 t/h de capacidade de cada britador, com correias transportadoras de 2.500 t/h. As britagens serão projetados em diferentes áreas dentro da cava, de acordo com o direcionamento dos planos de lavra. O traçado estudado para esta alternativa contempla 4.660 m de comprimento e 42" de largura, divididas em três eixos fixos: 1 = 700 m, 2 = 1.260 m, 3 = 600 m, e dois eixos semimóveis: 4 = 600 m, 5 = 1.500 m.

Esta alternativa permite reduzir a distância média de transporte dos caminhões fora de estrada em aproximadamente 3.700 m. A nova distância reduz a frota em oito caminhões fora de estrada.

A figura 16 mostra um *layout* da alternativa B apresentando a localização do sistema de britagem e das correias transportadoras.



**Figura 16: Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras**

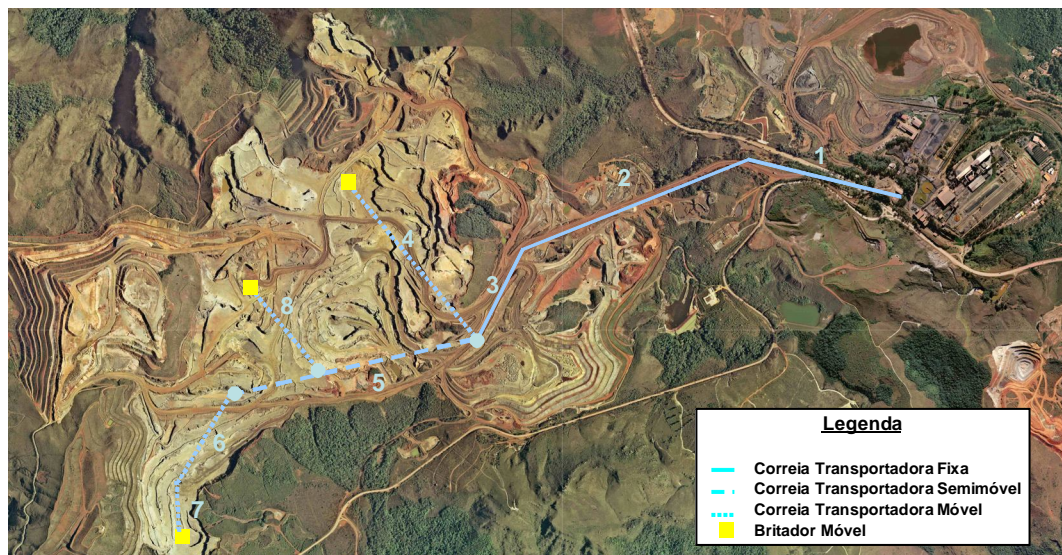
### C.Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

Esta alternativa não considera a utilização de caminhões fora de estrada para o transporte de minério, mas apenas por correias transportadoras. Todo ROM deverá ser carregado por carregadeiras diretamente nos britadores. Será necessário três britadores semimóveis dentro da cava, com capacidade produtiva de 1.500 t/h. O sistema contempla três eixos fixos: 1 = 700 m, 2 = 1.260 m, 3 = 600 m; 1 eixo semimóvel: 5 = 1.500 m, e quatro sistemas móveis: 4 = 1.200 m, 6 = 600 m, 7 = 300 m, 8 = 600 m. No total, contempla 6.760 m de correia transportadora.

Este método elimina todos os caminhões fora de estrada para o transporte de ROM, mantendo apenas os caminhões para transporte de estéril. Esta alternativa reduz a frota em 9 caminhões fora de estrada.

A figura 17 mostra um *layout* da alternativa C apresentando a localização do sistema de britagem e das correias transportadoras.





**Figura 17: Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras**

Considerando que o cenário atual da mina é planejado para o uso de caminhões fora de estrada, a mudança para a alternativa de correias transportadoras requer um novo sequenciamento de lavra.

A tabela 6 mostra o resumo das três alternativas de correias transportadoras comparadas ao cenário atual de caminhões fora de estrada.

**Tabela 6: Resumo das Três Alternativas de Correias Transportadoras**

	Número de Britadores	Comprimento Correia Transportadora (m)	Redução Caminhões Fora de Estrada
A) Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras	1	2560	5
B) Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras	2	4660	8
C) Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras	3	6760	9



## 5.0. Estruturação Econômica

O presente estudo mostra alternativas comparativas entre o uso de caminhões fora de estrada e correias transportadoras que não considera aumento de produção. Sendo assim, o preço de venda do minério não influencia no estudo econômico e a variação deste não afeta os indicadores a serem calculados.

### 5.1. Mercado Minério de Ferro

O mercado de minério de ferro, aquecido pelo crescente desenvolvimento da indústria metalúrgica nos países asiáticos, principalmente na China, tem favorecido o desenvolvimento e a implantação de novos projetos em diversas empresas.

A forte crise econômica internacional de 2009 causou uma redução na demanda por minério de ferro no mundo, bem como uma redução dos preços. No entanto a China continua em alta com as importações de minério de ferro, conforme figura 18.

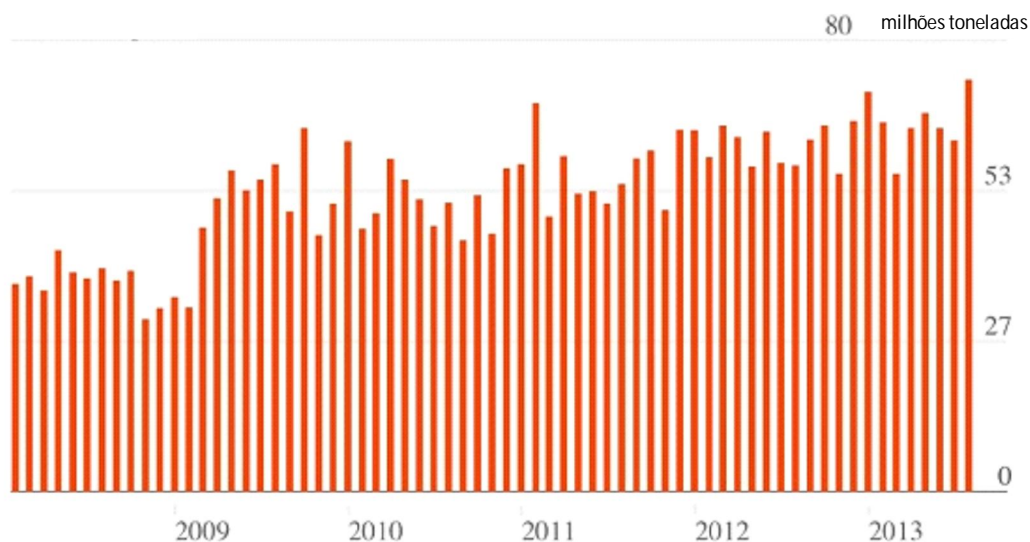
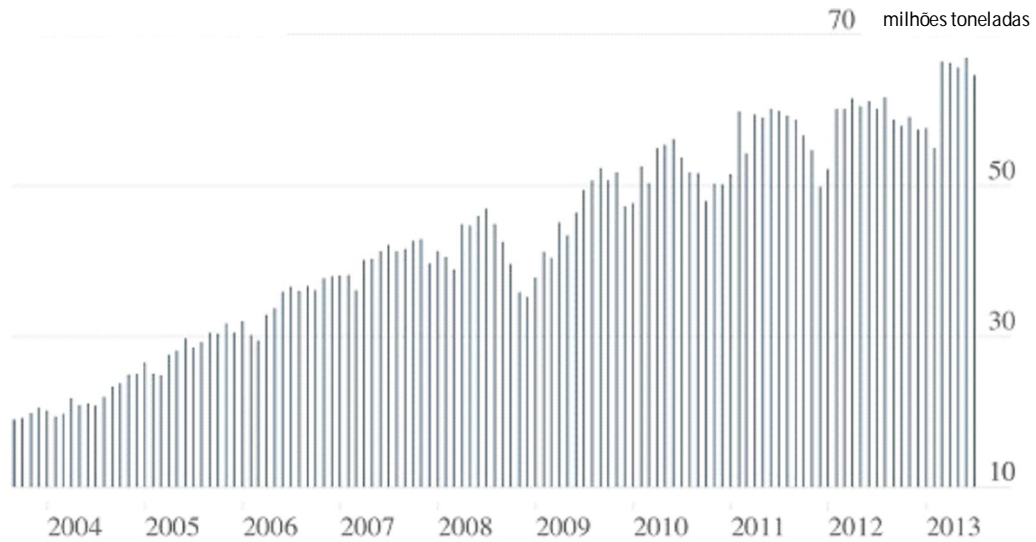


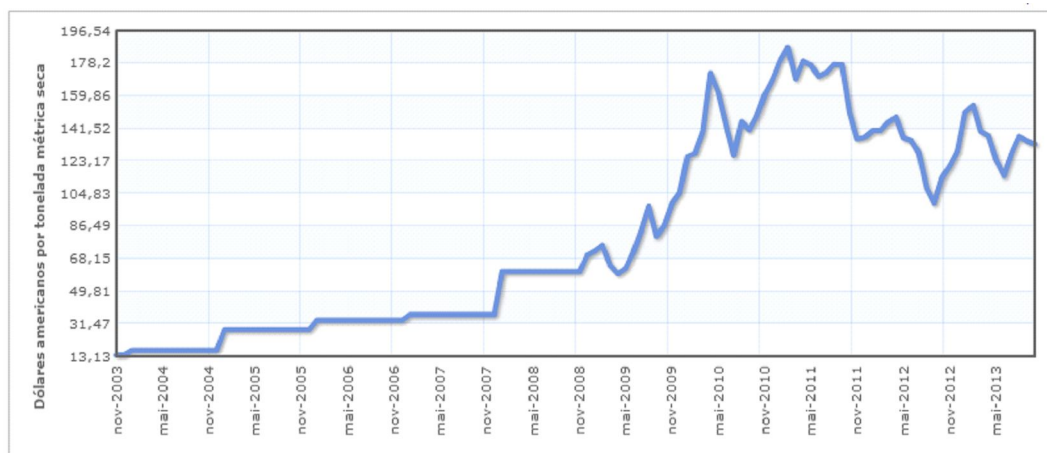
Figura 18: Volume de importação de minério de ferro da China (em milhões de toneladas) de 2009 a 2013

O setor metalúrgico chinês apresenta elevados números de produção de aço, conforme mostra a figura 19.



**Figura 19: Volume de produção de aço da China (em milhões de toneladas) de 2004 a 2013**

O preço do minério de ferro apresenta crescente considerável nos últimos 10 anos, conforme mostra a figura 20.



**Figura 20: Preço minério de ferro**

## 5.2. Custo de Capital

O custo de capital está detalhado nas três alternativas estudadas. Os investimentos estão separados de acordo com os casos comparativos: correias transportadoras e caminhões fora de estrada.

A.Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras;

O estudo comparativo considera dois casos: correias transportadoras (A') e caminhões fora de estrada (A''). Estes investimentos, conforme tabela 7, são inseridos na análise de fluxo de caixa comparativo dos casos estudados. Neste cenário, o investimento em correias transportadoras substitui o investimento em cinco caminhões fora de estrada ao longo da vida útil da mina.

**Tabela 7: Custo de Capital - Sistema de Britagem Semimóvel Fora da Cava e Correias Transportadoras**

<b>Correia Transportadora (A')</b>		<b>US\$</b>
Britador Semimóvel (unidade)	1	30.000.000
Correia Transportadora (km)	2,5	25.000.000
<b>Total</b>		<b>55.000.000</b>

<b>Caminhão Fora de Estrada (A'')</b>		<b>US\$</b>
Caminhão Fora de Estrada (CAT 785)	5	12.460.000
<b>Total</b>		<b>12.460.000</b>

B.Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras;

O estudo comparativo considera dois casos: correias transportadoras (B') e caminhões fora de estrada (B''). Estes investimentos, conforme tabela 8, são inseridos na análise de fluxo de caixa comparativo dos casos estudados. Neste cenário, o investimento em correias transportadoras substitui o investimento em oito caminhões fora de estrada ao longo da vida útil da mina.

**Tabela 8: Custo de Capital: Sistema de Britagem Semimóvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras**

<b>Correia Transportadora (B')</b>		<b>US\$</b>
Britador Semimóvel (unidade)	2	10.000.000
Correia Transportadora (km)	4,7	46.600.000
<b>Total</b>		<b>56.600.000</b>

<b>Caminhões Fora de Estrada (B'')</b>		<b>US\$</b>
Caminhões Fora de Estrada (CAT 785)	8	19.936.000
<b>Total</b>		<b>19.936.000</b>

C.Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.

O estudo comparativo considera dois casos: correias transportadoras (C') e caminhões fora de estrada (C''). Estes investimentos, conforme tabela 9, são inseridos na análise de fluxo de caixa comparativo dos casos estudados. Neste cenário, o investimento em correias transportadoras substitui o investimento em nove caminhões fora de estrada ao longo da vida útil da mina.

**Tabela 9: Custo Capital - Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras**

<b>Correia Transportadora (C')</b>		<b>US\$</b>
Britador Móvel (unidade)	3	23.333.333
Correia Transportadora (km)	6,8	67.600.000
Escavadeira Hidráulica (PC4000)	4	36.000.000
<b>Total</b>		<b>90.933.333</b>

<b>Caminhão Fora de Estrada (C'')</b>		<b>US\$</b>
Caminhão Fora de Estrada (CAT 785)	9	22.428.000
Carregadeira (CAT 994)	4	18.400.000
Escavadeira Elétrica (P&H 1900)	1	13.000.000
<b>Total</b>		<b>53.828.000</b>

## **5.2. Custos Operacionais**

Os custos operacionais foram calculados baseados em estimativas de projeto VALE. Estes valores foram separados de acordo com os casos comparativos: correias transportadoras e caminhões fora de estrada.

A.Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras;

O estudo comparativo considera dois casos: correias transportadoras (A') e caminhões fora de estrada (A''). Os custos operacionais, conforme tabela 10, são inseridos na análise de fluxo de caixa comparativo dos casos estudados. Neste cenário, o custo operacional das correias transportadoras é US\$ 0,68/t produzida contra US\$ 0,97/t produzida no caso caminhões fora de estrada.

**Tabela 10: Custo Operacional - Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras**

<b>Correia Transportadora (A')</b>	<b>US\$/t de Produto</b>
Correia Transportadora	
Eletricidade	0,09
Manutenção	0,07
Mão de Obra	0,04
Britagem	0,03
<i>Total</i>	<i>0,23</i>
Carregamento	
Pneu	0,07
Óleo Diesel	0,17
Eletricidade	0,00
Manutenção	0,16
Mão de Obra	0,05
Outros	0,01
<i>Total</i>	<i>0,45</i>
<b>Total</b>	<b>0,68</b>

B.Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

O estudo comparativo considera dois casos: correias transportadoras (B') e caminhões fora de estrada (B''). Os custos operacionais, conforme tabela 11, são inseridos na análise de fluxo de caixa comparativo dos casos estudados. Neste cenário, o custo operacional das correias transportadoras é US\$ 0,44/t produzida contra US\$ 0,97/t produzida no caso caminhões fora de estrada.

**Tabela 11: Custo Operacional - Sistema de Britagem Semimóvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras**

<b>Correia Transportadora (B')</b>		<b>US\$/t de Produto</b>
Correia Transportadora		
	Eletricidade	0,09
	Manutenção	0,07
	Mão de Obra	0,04
	Britagem	0,03
	<i>Total</i>	<i>0,23</i>
Carregamento		
	Pneu	0,03
	Óleo Diesel	0,08
	Eletricidade	0,00
	Manutenção	0,07
	Mão de Obra	0,02
	Outros	0,00
	<i>Total</i>	<i>0,21</i>
<b>Total</b>		<b>0,44</b>
<b>Caminhão Fora de Estrada (B'')</b>		<b>US\$/t de Produto</b>
Carregamento		
	Pneu	0,15
	Óleo Diesel	0,36
	Eletricidade	0,00
	Manutenção	0,34
	Mão de Obra	0,11
	Outros	0,02
	<i>Total</i>	<i>0,97</i>
<b>Total</b>		<b>0,97</b>

C.Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.

O estudo comparativo considera dois casos: correias transportadoras (C') e caminhões fora de estrada (C''). Os custos operacionais, conforme tabela 12, são inseridos na análise de fluxo de caixa comparativo dos casos estudados. Neste cenário, o custo operacional das correias transportadoras é US\$ 0,23/t produzida contra US\$ 1,18/t produzida no caso caminhões fora de estrada.

**Tabela 12: Custo Operacional - Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras**

<b>Correia Transportadora (C')</b>	<b>US\$/t de Produto</b>
Correia Transportadora	
Eletricidade	0,09
Manutenção	0,07
Mão de Obra	0,04
Britagem	0,03
<i>Total</i>	<i>0,23</i>
<b>Total</b>	<b>0,23</b>

<b>Caminhão Fora de Estrada (C'')</b>	<b>US\$/t de Produto</b>
Carregamento	
Pneu	0,15
Óleo Diesel	0,36
Eletricidade	0,00
Manutenção	0,34
Mão de Obra	0,11
Outros	0,02
<i>Total</i>	<i>0,97</i>

Perfuração e Desmonte	0,21
<b>Total</b>	<b>1,18</b>

As tabelas 10 a 12 mostram que os custos operacionais da alternativa C possui valores com maior discrepância, sendo os custos operacionais das correias transportadoras abaixo dos demais casos.

### **5.3. Depreciação**

A depreciação considerada neste projeto foi 10% ao ano, durante a vida útil do projeto. Esta taxa é utilizada pelo Planejamento Estratégico da VALE.

### **5.4. Taxas**

Para avaliação do projeto, foram consideradas três tributações principais:

**CFEM** – A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Naturais (CFEM) é estimada pela receita líquida, que é obtida pela venda do produto. É controlada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral e representa 2% da receita anual para a produção de minério de ferro.

**Imposto de Renda** – O Imposto de Renda (IR) aplicada a projetos é equivalente a 25% da receita e a 9% da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), em um total de 34%.

### ***5.5. Taxa de Desconto***

A taxa de desconto é usualmente considerada como os fluxos de caixa futuros que devem ser descontados para produzir um valor que representa o que esses fluxos de caixa valeriam se eles fossem recebidos ou pagos hoje. Para o estudo de caso, considerou-se uma taxa de desconto de 8%. Este estudo não utiliza empréstimo, de modo que não foi considerada taxa de juros.



## **6.0. Avaliação Econômica e Ambiental**

### ***6.1. Avaliação Econômica***

A análise econômica foi elaborada considerando o pagamento dos impostos mencionados no capítulo anterior. O estudo considerando empréstimo para aquisição de bens de capitais não foi contemplado. Um estudo de análise de sensibilidade mostrará as variáveis que podem afetar diretamente os parâmetros econômicos do projeto.

As principais ferramentas utilizadas para analisar os investimentos e indicar a viabilidade do projeto foram a taxa interna de retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL) de um fluxo de caixa descontado. O período de retorno foi calculado para cada caso com o intuito comparativo.

O projeto consiste em um estudo de três alternativas, evidenciando a comparação de dois casos cada: correias transportadoras e caminhões fora de estrada. A análise incremental é um método fundamental de análise para comparar dois ou mais casos concorrentes, a fim de determinar a viabilidade de se realizar investimentos adicionais, considerando benefícios adicionais que ocorrer.

A análise econômica incremental para este projeto é feita a partir da diferença do fluxo de caixa da opção correias transportadoras comparando com a opção caminhão fora de estrada. A partir da diferença entre os fluxos de caixa é calculado o fluxo de caixa incremental, sendo que a movimentação total de ROM e produção é a mesma em ambos os casos. Em seguida, é calculado o fluxo de caixa descontado, o VPL e a TIR.

As análises econômicas consideram dois casos: correias transportadoras (A') e caminhões fora de estrada (A''). Os resultados das análises econômicas dos três estudos comparativos são apresentados a seguir.

#### **A. Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras**

De acordo com os dados das tabelas 13, 14, 15 e 16, a alternativa A apresentou um VPL negativo. Apesar de conter custos operacionais mais baixos, o caso correias

transportadoras não foi capaz de efetuar o pagamento dos investimentos ao longo dos anos.

Tabela 13: Fluxo de Caixa - Alternativa A'

FLUXO DE CAIXA - CORREIA TRANSPORTADORA

Ano	ROM	Reserva Remanescente	Custo Capital	Produção	Receita	Custo Operacional	Royalty 2,00%	Lucro Tributável	Imposto de Renda 34%	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
	M t ROM	M t	M \$	M t	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$		M \$	M \$
0	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00
2	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
3	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00
4	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
5	0,00	354,63	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-22,00	-22,00	0,68	-14,97	-14,97
6	0,00	354,63	27,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-27,50	-49,50	0,63	-17,33	-32,30
7	14,51	340,12	5,50	9,22	1.011,20	4,02	20,22	986,95	335,56	645,89	596,39	0,58	376,87	344,57
8	18,60	321,52	0,00	9,00	974,05	4,50	19,48	950,07	323,02	627,05	1.223,43	0,54	338,77	683,34
9	22,82	298,70	0,00	10,60	1.140,16	6,25	22,80	1.111,11	377,78	733,33	1.956,76	0,50	366,85	1.050,19
10	22,82	275,87	0,00	10,60	1.140,16	6,25	22,80	1.111,11	377,78	733,33	2.690,10	0,46	339,67	1.389,86
11	22,82	253,05	0,00	10,60	1.140,16	6,25	22,80	1.111,11	377,78	733,33	3.423,43	0,43	314,51	1.704,38
12	22,82	230,23	0,00	10,60	1.140,16	6,25	22,80	1.111,11	377,78	733,33	4.156,76	0,40	291,22	1.995,59
13	22,82	207,41	0,00	10,60	1.140,16	6,25	22,80	1.111,11	377,78	733,33	4.890,09	0,37	269,64	2.265,24
14	22,22	185,18	0,00	10,00	1.073,00	6,88	21,46	1.044,66	355,19	689,48	5.579,56	0,34	234,74	2.499,98
15	22,22	162,96	0,00	10,00	1.073,00	6,88	21,46	1.044,66	355,19	689,48	6.269,04	0,32	217,35	2.717,33
16	22,22	140,74	2,11	10,00	1.073,00	6,88	21,46	1.044,66	355,19	687,37	6.956,41	0,29	200,64	2.917,96
19	22,22	74,07	0,00	10,00	1.073,00	7,71	21,46	1.043,83	354,90	688,93	9.024,29	0,23	159,63	3.436,48
20	22,22	51,85	0,00	10,00	1.073,00	7,71	21,46	1.043,83	354,90	688,93	9.713,22	0,21	147,81	3.584,29
21	22,22	29,63	0,00	10,00	1.073,00	7,71	21,46	1.043,83	354,90	688,93	10.402,14	0,20	136,86	3.721,15
22	22,22	7,41	0,00	10,00	1.073,00	7,71	21,46	1.043,83	354,90	688,93	11.091,07	0,18	126,72	3.847,87
23	7,41	0,00	0,00	3,33	357,63	2,57	7,15	347,91	118,29	229,62	11.320,69	0,17	39,11	3.886,98
24														
25														
<b>Total</b>	<b>354,63</b>		<b>57,11</b>	<b>164,56</b>	<b>17.700,70</b>	<b>107,60</b>	<b>354,01</b>	<b>17.239,09</b>	<b>5.861,29</b>	<b>11.320,69</b>			<b>3.886,98</b>	

Tabela 14: Fluxo de Caixa - Alternativa A''

FLUXO DE CAIXA - CAMINHÃO FORA DE ESTRADA

Ano	ROM	Reserva Remanescente	Custo Capital	Produção	Receita	Custo Operacional	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Royalty 2,00%	Lucro Tributável	Imposto de Renda 34%	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
	M t ROM	M t	M \$	M t	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$		M \$	M \$
0	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00
2	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
3	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00
4	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
5	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00
6	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00
7	14,51	340,12	2,49	9,22	1.011,20	6,18	1.002,53	1.002,53	20,22	984,80	334,83	647,48	647,48	0,58	377,80	377,80
8	18,60	321,52	2,49	9,00	974,05	6,59	964,97	1.967,50	19,48	947,98	322,31	623,17	1.270,65	0,54	336,68	714,48
9	22,82	298,70	4,98	10,60	1.140,16	9,16	1.126,02	3.093,52	22,80	1.108,20	376,79	726,43	1.997,08	0,50	363,40	1.077,87
10	22,82	275,87	0,00	10,60	1.140,16	9,16	1.131,01	4.224,53	22,80	1.108,20	376,79	731,41	2.728,50	0,46	338,79	1.416,66
11	22,82	253,05	0,00	10,60	1.140,16	9,16	1.131,01	5.355,54	22,80	1.108,20	376,79	731,41	3.459,91	0,43	313,69	1.730,35
12	22,82	230,23	2,49	10,60	1.140,16	9,16	1.128,52	6.484,05	22,80	1.108,20	376,79	728,92	4.188,83	0,40	289,47	2.019,82
13	22,82	207,41	0,00	10,60	1.140,16	9,16	1.131,01	7.615,06	22,80	1.108,20	376,79	731,41	4.920,25	0,37	268,94	2.288,76
14	22,22	185,18	0,00	10,00	1.073,00	9,78	1.063,22	8.678,28	21,46	1.041,76	354,20	687,56	5.607,81	0,34	234,09	2.522,84
15	22,22	162,96	0,00	10,00	1.073,00	9,78	1.063,22	9.741,50	21,46	1.041,76	354,20	687,56	6.295,37	0,32	216,75	2.739,59
16	22,22	140,74	2,49	10,00	1.073,00	9,78	1.060,73	10.802,23	21,46	1.041,76	354,20	685,07	6.980,44	0,29	199,97	2.939,56
17	22,22	118,52	2,49	10,00	1.073,00	9,78	1.060,73	11.862,96	21,46	1.041,76	354,20	685,07	7.665,51	0,27	185,15	3.124,71
18	22,22	96,30	4,98	10,00	1.073,00	9,78	1.058,24	12.921,19	21,46	1.041,76	354,20	682,58	8.348,09	0,25	170,81	3.295,52
19	22,22	74,07	0,00	10,00	1.073,00	10,61	1.062,39	13.983,58	21,46	1.040,93	353,92	687,01	9.035,10	0,23	159,19	3.454,71
20	22,22	51,85	0,00	10,00	1.073,00	10,61	1.062,39	15.045,97	21,46	1.040,93	353,92	687,01	9.722,11	0,21	147,40	3.602,11
21	22,22	29,63	0,00	10,00	1.073,00	10,61	1.062,39	16.108,35	21,46	1.040,93	353,92	687,01	10.409,12	0,20	136,48	3.738,59
22	22,22	7,41	0,00	10,00	1.073,00	10,61	1.062,39	17.170,74	21,46	1.040,93	353,92	687,01	11.096,13	0,18	126,37	3.864,96
23	7,41	0,00	0,00	3,33	357,63	3,54	354,09	17.524,83	7,15	346,94	117,96	228,98	11.325,11	0,17	39,00	3.903,96
24																
25																
<b>Total</b>	<b>354,63</b>		<b>22,43</b>	<b>164,56</b>	<b>17.700,70</b>	<b>153,44</b>	<b>17.524,83</b>		<b>354,01</b>	<b>17.193,25</b>	<b>5.845,70</b>	<b>11.325,11</b>			<b>3.903,96</b>	

**Tabela 15: Análise Incremental (Fluxo de Caixa A' - A'')**

Ano	Fluxo de Caixa Incremental \$	Fluxo de Caixa Acumulado Incremental \$	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado Incremental \$	Fluxo de Caixa Acumulado Descontado Incremental \$
0	0	0	1,000	0	0
1	0	0	0,926	0	0
2	0	0	0,857	0	0
3	0	0	0,794	0	0
4	0	0	0,735	0	0
5	-22.000.000	-22.000.000	0,681	-14.972.830	-14.972.830
6	-27.500.000	-49.500.000	0,630	-17.329.665	-32.302.495
7	-1.586.098	-51.086.098	0,583	-925.473	-33.227.968
8	3.871.223	-47.214.876	0,540	2.091.501	-31.136.467
9	6.899.587	-40.315.289	0,500	3.451.511	-27.684.956
10	1.915.587	-38.399.702	0,463	887.287	-26.797.669
11	1.915.587	-36.484.115	0,429	821.562	-25.976.106
12	4.407.587	-32.076.528	0,397	1.750.313	-24.225.793
13	1.915.587	-30.160.942	0,368	704.357	-23.521.436
14	1.915.587	-28.245.355	0,340	652.183	-22.869.253
15	1.915.587	-26.329.768	0,315	603.873	-22.265.380
16	2.297.587	-24.032.181	0,292	670.644	-21.594.736
17	4.407.587	-19.624.594	0,270	1.191.234	-20.403.502
18	6.899.587	-12.725.008	0,250	1.726.615	-18.676.888
19	1.915.587	-10.809.421	0,232	443.865	-18.233.023
20	1.915.587	-8.893.834	0,215	410.986	-17.822.037
21	1.915.587	-6.978.247	0,199	380.542	-17.441.495
22	1.915.587	-5.062.660	0,184	352.354	-17.089.141
23	638.465	-4.424.195	0,170	108.740	-16.980.401
24					
25					
<b>Total</b>	<b>-4.424.195</b>			<b>-16.980.401</b>	

**Tabela 16: Análise Econômica Incremental – Alternativa A**

Análise Econômica Incremental	
VPL (US\$)	-16.980.401
Pay Back (anos)	-
TIR	-

B. Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

A alternativa B apresenta VPL positivo, mas sem ser atraente financeiramente.

De acordo com os dados das tabelas 17, 18, 19 e 20, a alternativa B apresentou um VPL positivo. Os custos operacionais do caso correias transportadoras é mais baixo nesta alternativa, entretanto não é financeiramente atraente.

Tabela 17: Fluxo de Caixa - Alternativa B'

FLUXO DE CAIXA - CORREIA TRANSPORTADORA

Ano	ROM	Reserva Remanescente	Custo Capital	Produção	Receita	Custo Operacional	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Royalty 2,00%	Lucro Tributável	Imposto de Renda 34%	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
	M t ROM	M t	M \$	M t	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$		M \$	M \$
0	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00
2	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
3	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00
4	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
5	0,00	354,63	22,64	0,00	0,00	0,00	-22,64	-22,64	0,00	0,00	0,00	-22,64	-22,64	0,68	-15,41	-15,41
6	0,00	354,63	28,30	0,00	0,00	0,00	-28,30	-50,94	0,00	0,00	0,00	-28,30	-50,94	0,63	-17,83	-33,24
7	14,51	340,12	5,66	9,22	1.011,20	3,25	1.002,29	951,35	20,22	987,73	335,83	646,24	595,30	0,58	377,07	343,83
8	18,60	321,52	0,00	9,00	974,05	3,15	970,90	1.922,25	19,48	945,76	321,56	629,86	1.225,16	0,54	340,29	684,13
9	22,82	298,70	0,00	10,60	1.140,16	4,38	1.135,78	3.058,03	22,80	1.107,32	376,49	736,49	1.961,65	0,50	368,43	1.052,55
10	22,82	275,87	0,00	10,60	1.140,16	4,38	1.135,78	4.193,81	22,80	1.107,32	376,49	736,49	2.698,14	0,46	341,14	1.393,69
11	22,82	253,05	0,00	10,60	1.140,16	4,38	1.135,78	5.329,60	22,80	1.107,32	376,49	736,49	3.434,63	0,43	315,87	1.709,56
12	22,82	230,23	0,00	10,60	1.140,16	4,38	1.135,78	6.465,38	22,80	1.107,32	376,49	736,49	4.171,12	0,40	292,47	2.002,03
13	22,82	207,41	0,00	10,60	1.140,16	4,38	1.135,78	7.601,16	22,80	1.107,32	376,49	736,49	4.907,61	0,37	270,81	2.272,84
14	22,22	185,18	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	8.669,78	21,46	1.041,50	354,11	693,05	5.600,66	0,34	235,96	2.508,79
15	22,22	162,96	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	9.738,40	21,46	1.041,50	354,11	693,05	6.293,71	0,32	218,48	2.727,27
16	22,22	140,74	3,93	10,00	1.073,00	4,38	1.064,69	10.803,09	21,46	1.041,50	354,11	689,12	6.982,83	0,29	201,15	2.928,42
17	22,22	118,52	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	11.871,71	21,46	1.041,50	354,11	693,05	7.675,88	0,27	187,31	3.115,73
18	22,22	96,30	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	12.940,32	21,46	1.047,16	356,03	691,12	8.367,00	0,25	172,95	3.288,68
19	22,22	74,07	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	14.008,94	21,46	1.047,16	356,03	691,12	9.058,13	0,23	160,14	3.448,82
20	22,22	51,85	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	15.077,56	21,46	1.047,16	356,03	691,12	9.749,25	0,21	148,28	3.597,10
21	22,22	29,63	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	16.146,18	21,46	1.047,16	356,03	691,12	10.440,38	0,20	137,30	3.734,40
22	22,22	7,41	0,00	10,00	1.073,00	4,38	1.068,62	17.214,80	21,46	1.047,16	356,03	691,12	11.131,50	0,18	127,13	3.861,52
23	7,41	0,00	0,00	3,33	357,63	1,46	356,17	17.570,97	7,15	349,02	118,67	230,35	11.361,85	0,17	39,23	3.900,76
24																
25																
<b>Total</b>	<b>354,63</b>		<b>60,53</b>	<b>164,56</b>	<b>17.700,70</b>	<b>69,20</b>	<b>17.570,97</b>		<b>354,01</b>	<b>17.220,89</b>	<b>5.855,10</b>	<b>11.361,85</b>			<b>3.900,76</b>	

Tabela 18: Fluxo de Caixa - Alternativa B''

FLUXO DE CAIXA - CAMINHÃO FORA DE ESTRADA

Ano	ROM	Reserva Remanescente	Custo Capital	Produção	Receita	Custo Operacional	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Royalty 2,00%	Lucro Tributável	Imposto de Renda 34%	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
	M t ROM	M t	M \$	M t	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$		M \$	M \$
0	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00
2	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
3	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00
4	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
5	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00
6	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00
7	14,51	340,12	2,49	9,22	1.011,20	6,18	1.002,53	1.002,53	20,22	984,80	334,83	647,48	647,48	0,58	377,80	377,80
8	18,60	321,52	2,49	9,00	974,05	6,59	964,97	1.967,50	19,48	947,98	322,31	623,17	1.270,65	0,54	336,68	714,48
9	22,82	298,70	7,48	10,60	1.140,16	9,16	1.123,53	3.091,03	22,80	1.108,20	376,79	723,94	1.994,59	0,50	362,15	1.076,63
10	22,82	275,87	0,00	10,60	1.140,16	9,16	1.131,01	4.222,04	22,80	1.108,20	376,79	731,41	2.726,00	0,46	338,79	1.415,41
11	22,82	253,05	0,00	10,60	1.140,16	9,16	1.131,01	5.353,05	22,80	1.108,20	376,79	731,41	3.457,42	0,43	313,69	1.729,10
12	22,82	230,23	2,49	10,60	1.140,16	9,16	1.128,52	6.481,56	22,80	1.108,20	376,79	728,92	4.186,34	0,40	289,47	2.018,57
13	22,82	207,41	0,00	10,60	1.140,16	9,16	1.131,01	7.612,57	22,80	1.108,20	376,79	731,41	4.917,76	0,37	268,94	2.287,51
14	22,22	185,18	4,98	10,00	1.073,00	9,78	1.058,24	8.670,80	21,46	1.041,76	354,20	682,58	5.600,33	0,34	232,39	2.519,90
15	22,22	162,96	0,00	10,00	1.073,00	9,78	1.063,22	9.734,02	21,46	1.041,76	354,20	687,56	6.287,89	0,32	216,75	2.736,65
16	22,22	140,74	2,49	10,00	1.073,00	9,78	1.060,73	10.794,75	21,46	1.041,76	354,20	685,07	6.972,96	0,29	199,97	2.936,61
17	22,22	118,52	2,49	10,00	1.073,00	9,78	1.060,73	11.855,48	21,46	1.041,76	354,20	685,07	7.658,03	0,27	185,15	3.121,77
18	22,22	96,30	7,48	10,00	1.073,00	9,78	1.055,74	12.911,22	21,46	1.041,76	354,20	680,09	8.338,12	0,25	170,19	3.291,96
19	22,22	74,07	0,00	10,00	1.073,00	10,61	1.062,39	13.973,61	21,46	1.040,93	353,92	687,01	9.025,13	0,23	159,19	3.451,15
20	22,22	51,85	0,00	10,00	1.073,00	10,61	1.062,39	15.036,00	21,46	1.040,93	353,92	687,01	9.712,14	0,21	147,40	3.598,54
23	7,41	0,00	0,00	3,33	357,63	3,54	354,09	17.514,86	7,15	346,94	117,96	228,98	11.315,15	0,17	39,00	3.900,39
24																
25																
<b>Total</b>	<b>354,63</b>		<b>32,40</b>	<b>164,56</b>	<b>17.700,70</b>	<b>153,44</b>	<b>17.514,86</b>		<b>354,01</b>	<b>17.193,25</b>	<b>5.845,70</b>	<b>11.315,15</b>			<b>3.900,39</b>	



**Tabela 19: Análise Incremental (Fluxo de Caixa B' - B'')**

Ano	Fluxo de Caixa Incremental \$	Fluxo de Caixa Acumulado Incremental \$	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado Incremental \$	Fluxo de Caixa Acumulado Descontado Incremental \$
0	0	0	1,000	0	0
1	0	0	0,926	0	0
2	0	0	0,857	0	0
3	0	0	0,794	0	0
4	0	0	0,735	0	0
5	-22.640.000	-22.640.000	0,681	-15.408.404	-15.408.404
6	-28.300.000	-50.940.000	0,630	-17.833.800	-33.242.204
7	-1.236.362	-52.176.362	0,583	-721.405	-33.963.609
8	6.685.608	-45.490.753	0,540	3.612.026	-30.351.583
9	12.552.078	-32.938.675	0,500	6.279.164	-24.072.419
10	5.076.078	-27.862.597	0,463	2.351.206	-21.721.213
11	5.076.078	-22.786.519	0,429	2.177.043	-19.544.170
12	7.568.078	-15.218.441	0,397	3.005.388	-16.538.782
13	5.076.078	-10.142.363	0,368	1.866.463	-14.672.319
14	10.472.108	329.745	0,340	3.565.345	-11.106.974
15	5.488.108	5.817.854	0,315	1.730.081	-9.376.893
16	4.047.068	9.864.922	0,292	1.181.301	-8.195.592
17	7.980.108	17.845.031	0,270	2.156.776	-6.038.817
18	11.039.708	28.884.739	0,250	2.762.676	-3.276.140
19	4.113.082	32.997.822	0,232	953.051	-2.323.090
20	4.113.082	37.110.904	0,215	882.454	-1.440.635
21	4.113.082	41.223.986	0,199	817.087	-623.548
22	4.113.082	45.337.069	0,184	756.562	133.015
23	1.370.890	46.707.959	0,170	233.484	366.498
24					
25					
Total	46.707.959			366.498	

**Tabela 20: Resumo Análise Econômica Incremental – Alternativa B**

Análise Econômica Incremental	
VPL (US\$)	366.498
Pay Back (anos)	17,8
TIR	8,2%

### C. Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras.

Os dados das tabelas 21, 22, 23 e 24 indicam que a alternativa C apresentou VPL atrativo. Apesar do alto investimento, a redução dos custos operacionais permitiu o pagamento com um período de retorno de aproximadamente 12 anos.

Tabela 21: Fluxo de Caixa - Alternativa C'

FLUXO DE CAIXA - CORREIA TRANSPORTADORA

Ano	ROM	Reserva Remanescente	Custo Capital	Produção	Receita	Custo Operacional	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Royalty 2,00%	Lucro Tributável	Imposto de 34%	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
	M t ROM	M t	M \$	M t	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$		M \$	M \$
0	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00
2	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
3	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00
4	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
5	0,00	354,63	36,37	0,00	0,00	0,00	-36,37	-36,37	0,00	0,00	0,00	-36,37	-36,37	0,68	-24,76	-24,76
6	0,00	354,63	54,47	0,00	0,00	0,00	-54,47	-90,84	0,00	0,00	0,00	-54,47	-90,84	0,63	-34,32	-59,08
7	14,51	340,12	27,09	9,22	1.011,20	1,71	982,40	891,56	20,22	989,27	336,35	625,83	534,99	0,58	365,16	306,08
8	18,60	321,52	9,00	9,00	974,05	1,66	963,40	1.854,96	19,48	941,12	319,98	623,93	1.158,92	0,54	337,09	643,18
9	22,82	298,70	0,00	10,60	1.140,16	2,30	1.137,86	2.992,82	22,80	1.103,27	375,11	739,95	1.898,87	0,50	370,16	1.013,34
10	22,82	275,87	0,00	10,60	1.140,16	2,30	1.137,86	4.130,69	22,80	1.103,27	375,11	739,95	2.638,82	0,46	342,74	1.356,08
11	22,82	253,05	0,00	10,60	1.140,16	2,30	1.137,86	5.268,55	22,80	1.103,27	375,11	739,95	3.378,77	0,43	317,35	1.673,43
12	22,82	230,23	0,00	10,60	1.140,16	2,30	1.137,86	6.406,41	22,80	1.103,27	375,11	739,95	4.118,72	0,40	293,84	1.967,27
13	22,82	207,41	0,00	10,60	1.140,16	2,30	1.137,86	7.544,28	22,80	1.103,27	375,11	739,95	4.858,67	0,37	272,08	2.239,35
14	22,22	185,18	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	8.614,98	21,46	1.037,45	352,73	696,51	5.555,18	0,34	237,13	2.476,48
15	22,22	162,96	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	9.685,68	21,46	1.037,45	352,73	696,51	6.251,68	0,32	219,57	2.696,05
16	22,22	140,74	5,71	10,00	1.073,00	2,30	1.064,99	10.750,67	21,46	1.037,45	352,73	690,80	6.942,49	0,29	201,64	2.897,69
17	22,22	118,52	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	11.821,37	21,46	1.037,45	352,73	696,51	7.638,99	0,27	188,24	3.085,94
18	22,22	96,30	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	12.892,07	21,46	1.049,24	356,74	692,50	8.331,49	0,25	173,30	3.259,23
19	22,22	74,07	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	13.962,77	21,46	1.049,24	356,74	692,50	9.023,99	0,23	160,46	3.419,69
20	22,22	51,85	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	15.033,47	21,46	1.049,24	356,74	692,50	9.716,49	0,21	148,57	3.568,27
21	22,22	29,63	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	16.104,17	21,46	1.049,24	356,74	692,50	10.408,99	0,20	137,57	3.705,84
22	22,22	7,41	0,00	10,00	1.073,00	2,30	1.070,70	17.174,87	21,46	1.049,24	356,74	692,50	11.101,49	0,18	127,38	3.833,21
23	7,41	0,00	0,00	3,33	357,63	0,77	356,86	17.531,74	7,15	349,71	118,90	230,81	11.332,30	0,17	39,31	3.872,52
24																
25																
<b>Total</b>	<b>354,63</b>		<b>132,64</b>	<b>164,56</b>	<b>17.700,70</b>	<b>36,33</b>	<b>17.531,74</b>		<b>354,01</b>	<b>17.192,43</b>	<b>5.845,43</b>	<b>11.332,30</b>			<b>3.872,52</b>	

Tabela 22: Fluxo de Caixa - Alternativa C''

## FLUXO DE CAIXA - CAMINHÃO FORA DE ESTRADA

Ano	ROM	Reserva Remanescente	Custo Capital	Produção	Receita	Custo Operacional	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Royalty 2,00%	Lucro Tributável	Imposto de Renda 34%	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
	M t ROM	M t	M \$	M t	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$	M \$		M \$	M \$
0	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00
2	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
3	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00
4	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00
5	0,00	354,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00
6	0,00	354,63	4,60	0,00	0,00	0,00	-4,60	-4,60	0,00	0,00	0,00	-4,60	-4,60	0,63	-2,90	-2,90
7	14,51	340,12	9,20	9,22	1.011,20	12,28	989,72	985,12	20,22	978,70	332,76	636,74	632,14	0,58	371,53	368,63
8	18,60	321,52	9,58	9,00	974,05	13,10	951,36	1.936,48	19,48	941,47	320,10	611,78	1.243,92	0,54	330,53	699,16
9	22,82	298,70	12,46	10,60	1.140,16	18,20	1.109,50	3.045,99	22,80	1.099,16	373,71	712,99	1.956,91	0,50	356,67	1.055,83
10	22,82	275,87	0,00	10,60	1.140,16	18,20	1.121,96	4.167,95	22,80	1.099,16	373,71	725,45	2.682,35	0,46	336,02	1.391,85
11	22,82	253,05	0,00	10,60	1.140,16	18,20	1.121,96	5.289,91	22,80	1.099,16	373,71	725,45	3.407,80	0,43	311,13	1.702,98
12	22,82	230,23	0,00	10,60	1.140,16	18,20	1.121,96	6.411,88	22,80	1.099,16	373,71	725,45	4.133,25	0,40	288,08	1.991,07
13	22,82	207,41	13,00	10,60	1.140,16	18,20	1.108,96	7.520,84	22,80	1.099,16	373,71	712,45	4.845,69	0,37	261,96	2.253,03
14	22,22	185,18	4,98	10,00	1.073,00	19,44	1.048,57	8.569,41	21,46	1.032,10	350,91	676,20	5.521,89	0,34	230,22	2.483,25
15	22,22	162,96	0,00	10,00	1.073,00	19,44	1.053,56	9.622,97	21,46	1.032,10	350,91	681,18	6.203,08	0,32	214,74	2.697,99
16	22,22	140,74	2,49	10,00	1.073,00	19,44	1.051,07	10.674,04	21,46	1.032,10	350,91	678,69	6.881,77	0,29	198,10	2.896,09
17	22,22	118,52	7,48	10,00	1.073,00	19,44	1.046,08	11.720,12	21,46	1.032,10	350,91	673,71	7.555,48	0,27	182,08	3.078,18
18	22,22	96,30	19,94	10,00	1.073,00	19,44	1.033,62	12.753,74	21,46	1.032,10	350,91	661,25	8.216,73	0,25	165,48	3.243,65
19	22,22	74,07	0,00	10,00	1.073,00	21,10	1.051,90	13.805,65	21,46	1.030,44	350,35	680,09	8.896,82	0,23	157,59	3.401,24
20	22,22	51,85	0,00	10,00	1.073,00	21,10	1.051,90	14.857,55	21,46	1.030,44	350,35	680,09	9.576,91	0,21	145,91	3.547,15
21	22,22	29,63	0,00	10,00	1.073,00	21,10	1.051,90	15.909,46	21,46	1.030,44	350,35	680,09	10.257,01	0,20	135,10	3.682,26
22	22,22	7,41	0,00	10,00	1.073,00	21,10	1.051,90	16.961,36	21,46	1.030,44	350,35	680,09	10.937,10	0,18	125,10	3.807,35
23	7,41	0,00	0,00	3,33	357,63	7,03	350,60	17.311,96	7,15	343,45	116,77	226,67	11.163,77	0,17	38,61	3.845,96
24																
25																
<b>Total</b>	<b>354,63</b>		<b>83,73</b>	<b>164,56</b>	<b>17.700,70</b>	<b>305,01</b>	<b>17.311,96</b>		<b>354,01</b>	<b>17.041,68</b>	<b>5.794,17</b>	<b>11.163,77</b>			<b>3.845,96</b>	

**Tabela 23: Análise Incremental (Fluxo de Caixa C' - C'')**

Ano	Fluxo de Caixa Incremental \$	Fluxo de Caixa Acumulado Incremental \$	Taxa de Desconto	Fluxo de Caixa Descontado Incremental \$	Fluxo de Caixa Acumulado Descontado Incremental \$
0	0	0	1,000	0	0
1	0	0	0,926	0	0
2	0	0	0,857	0	0
3	0	0	0,794	0	0
4	0	0	0,735	0	0
5	-36.373.333	-36.373.333	0,681	-24.755.079	-24.755.079
6	-49.866.667	-86.240.000	0,630	-31.424.459	-56.179.538
7	-10.914.116	-97.154.116	0,583	-6.368.282	-62.547.820
8	12.149.735	-85.004.381	0,540	6.564.124	-55.983.696
9	26.964.179	-58.040.202	0,500	13.488.803	-42.494.893
10	14.504.179	-43.536.022	0,463	6.718.241	-35.776.652
11	14.504.179	-29.031.843	0,429	6.220.594	-29.556.058
12	14.504.179	-14.527.663	0,397	5.759.809	-23.796.249
13	27.504.179	12.976.516	0,368	10.113.230	-13.683.019
14	20.307.210	33.283.726	0,340	6.913.814	-6.769.205
15	15.323.210	48.606.936	0,315	4.830.515	-1.938.691
16	12.109.770	60.716.706	0,292	3.534.726	1.596.036
17	22.799.210	83.515.916	0,270	6.161.919	7.757.954
18	31.249.477	114.765.392	0,250	7.820.151	15.578.106
19	12.405.517	127.170.909	0,232	2.874.508	18.452.614
20	12.405.517	139.576.426	0,215	2.661.581	21.114.195
21	12.405.517	151.981.943	0,199	2.464.427	23.578.622
22	12.405.517	164.387.460	0,184	2.281.877	25.860.499
23	4.134.759	168.522.219	0,170	704.213	26.564.712
24	0		0,158	0	
25	0		0,146	0	
<b>Total</b>	<b>168.522.219</b>			<b>26.564.712</b>	

**Tabela 24: Resumo Análise Econômica Incremental - Alternativa C**

<b>Análise Econômica Incremental</b>	
VPL (US\$)	26.564.712
Pay Back (anos)	11,5
TIR	13,2%

## 6.2. Análise de Sensibilidade

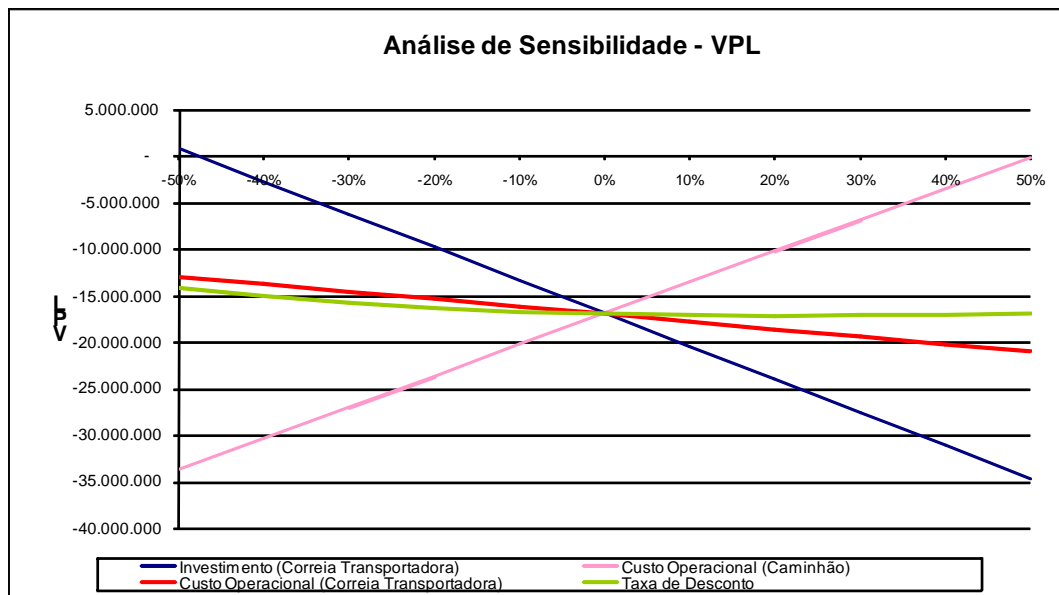
A análise de sensibilidade foi realizada nos três estudos para verificar como as variáveis econômicas podem afetar de forma significativa os valores finais do projeto. Os parâmetros avaliados estão correlacionados ao VPL.

### A. Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras

Na alternativa A é possível observar a necessidade de grandes variações de valores no investimento em correias transportadoras (redução em 50%) e nos custo operacionais de caminhão fora de estrada (aumento em 50%) para uma possível viabilidade econômica, conforme pode ser observado na tabela 25 e figura 21.

**Tabela 25: Parâmetros - Alternativa A**

Parâmetros	Valor
Investimento - Correia Transportadora (US\$)	55.000.000
Custo Operacional - Caminhão Fora de Estrada (US\$/t de produto * km)	0,21
Custo Operacional -Correia Transportadora (US\$/t de produto)	0,23
Taxa de Desconto (%)	8



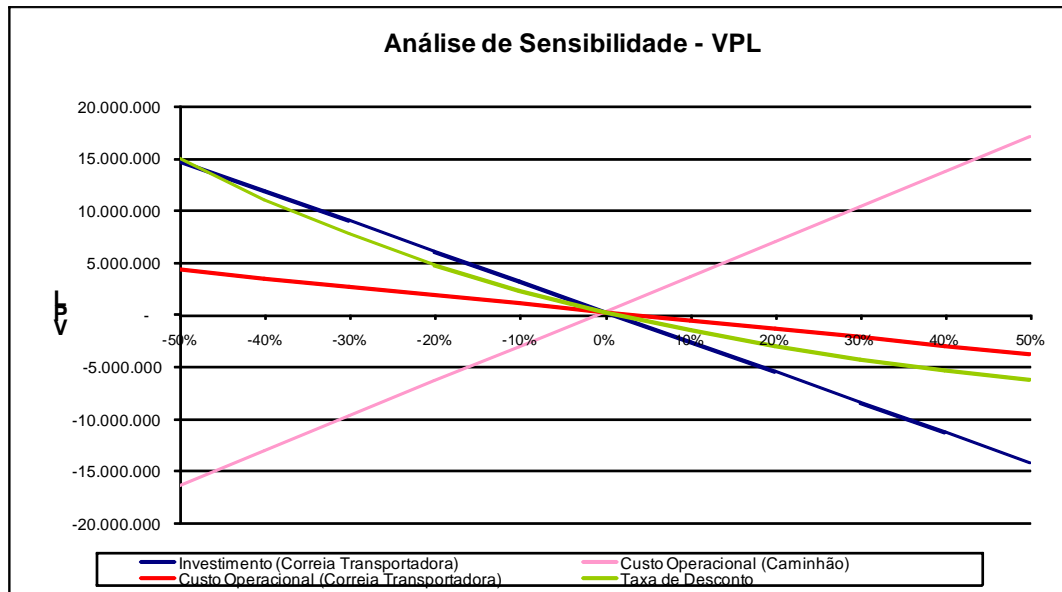
**Figura 21: Análise Sensibilidade - Alternativa A**

## B. Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

Na alternativa B, que considera os dados da tabela 26 e o comportamento dos gráficos da figura 22, pequenas variações em todos os itens analisados podem aumentar a atratividade do projeto ou inviabilizá-lo economicamente.

**Tabela 26: Parâmetros - Alternativa B**

Parâmetros	Valor
Investimento - Correia Transportadora (US\$)	56.600.000
Custo Operacional - Caminhão Fora de Estrada (US\$/t de produto * km)	0,21
Custo Operacional -Correia Transportadora (US\$/t de produto)	0,23
Taxa de Desconto (%)	8



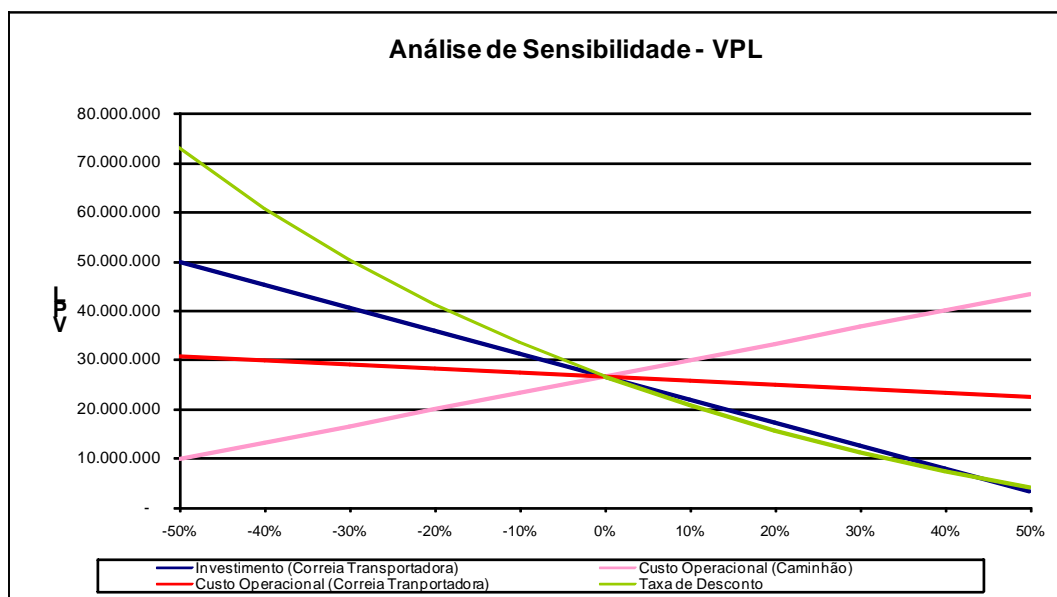
**Figura 22: Análise de Sensibilidade - Alternativa B**

## C. Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

De acordo com a tabela 27 e a figura 23, a alternativa C apresenta alto valor de VPL. As variações nos itens analisados mantém a viabilidade econômica do projeto.

**Tabela 27: Parâmetros - Alternativa C**

Parâmetros	Valor
Investimento - Correia Transportadora (US\$)	90.933.333
Custo Operacional - Caminhão Fora de Estrada (US\$/t de produ	0,21
Custo Operacional -Correia Transportadora (US\$/t de produto)	0,23
Taxa de Desconto (%)	8



**Figura 23: Análise de Sensibilidade - Alternativa C**

O investimento em correia transportadora e o custo operacional dos caminhões são os parâmetros de maior impacto e que mais influencia na sensibilidade econômica do projeto. Estes itens devem ser constantemente monitorados, pois grandes alterações podem alterar o resultado econômico do projeto.

### 6.3. Avaliação Ambiental

O compromisso com a preservação do meio ambiente é um fator fundamental na estratégia de sustentabilidade das empresas mineradoras. Nos dias atuais, elas buscam um equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico dos territórios onde as empresas atuam, mantendo a qualidade dos recursos naturais, da biodiversidade e da vida.

O CO<sub>2</sub> é o gás que tem maior contribuição para o aquecimento global. O dióxido de carbono emitido atualmente permanece na atmosfera por um longo tempo (cerca de 100 anos). A redução da distância de transporte e, conseqüentemente, a redução do número de caminhões fora de estrada permite a redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

É possível calcular os benefícios ambientais para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Segundo Bartholomeu (2006), um litro de diesel consumido cria 2,7458 kg de dióxido de carbono. Os caminhões fora de estrada consomem em média 0,25 litros/t movimentada. A partir destes dados, foi possível calcular a redução da emissão de CO<sub>2</sub> considerando a redução do número de caminhões fora de estrada, nas três alternativas estudadas.

#### A. Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras

A figura 24 mostra a variação do número de caminhões de acordo com a redução de DMT ao longo dos anos.

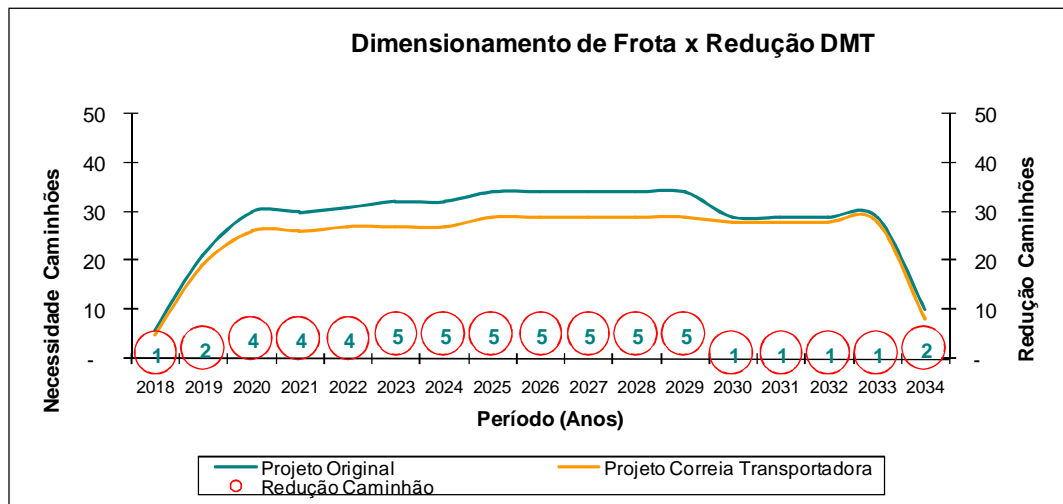


Figura 24: Redução de Caminhões - Alternativa A

De acordo com a figura 25 é possível verificar a redução de emissão de CO<sub>2</sub> com a redução de caminhões apresentado anteriormente.



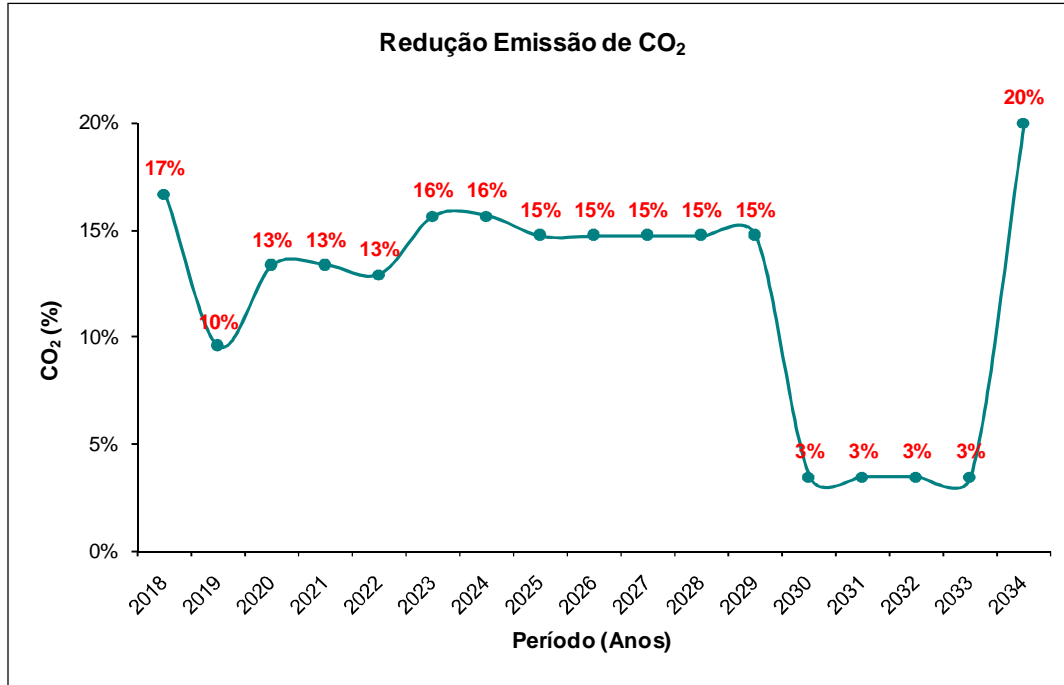


Figura 25: Redução Emissão CO<sub>2</sub> - Alternativa A

B. Sistema de Britagem Semi Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

Os dados da figura 26 mostram maior variação do número de caminhões em relação à figura 13, de acordo com a redução de DMT ao longo dos anos.

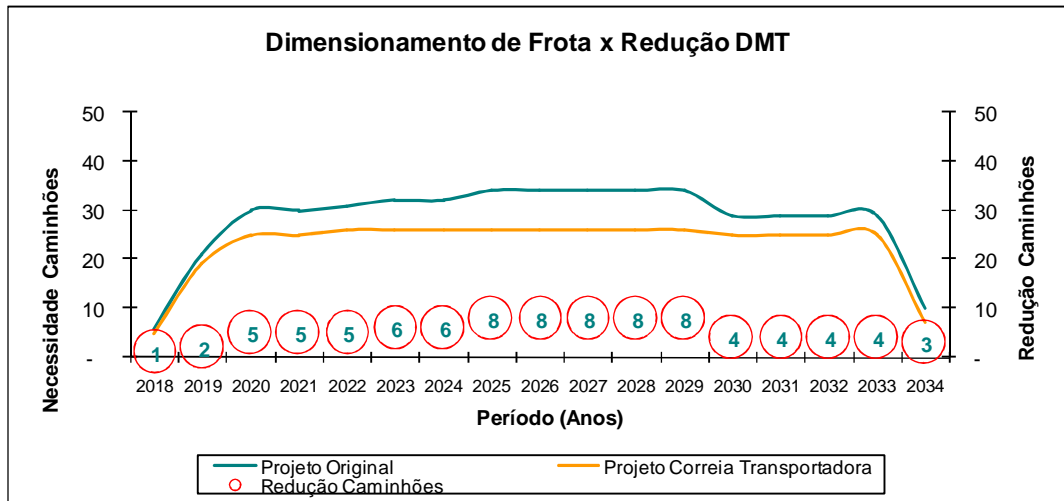


Figura 26: Redução Caminhões - Alternativa B

Conforme mostra a figura 27, a redução da emissão de CO<sub>2</sub> apresenta valores ambientalmente interessantes.

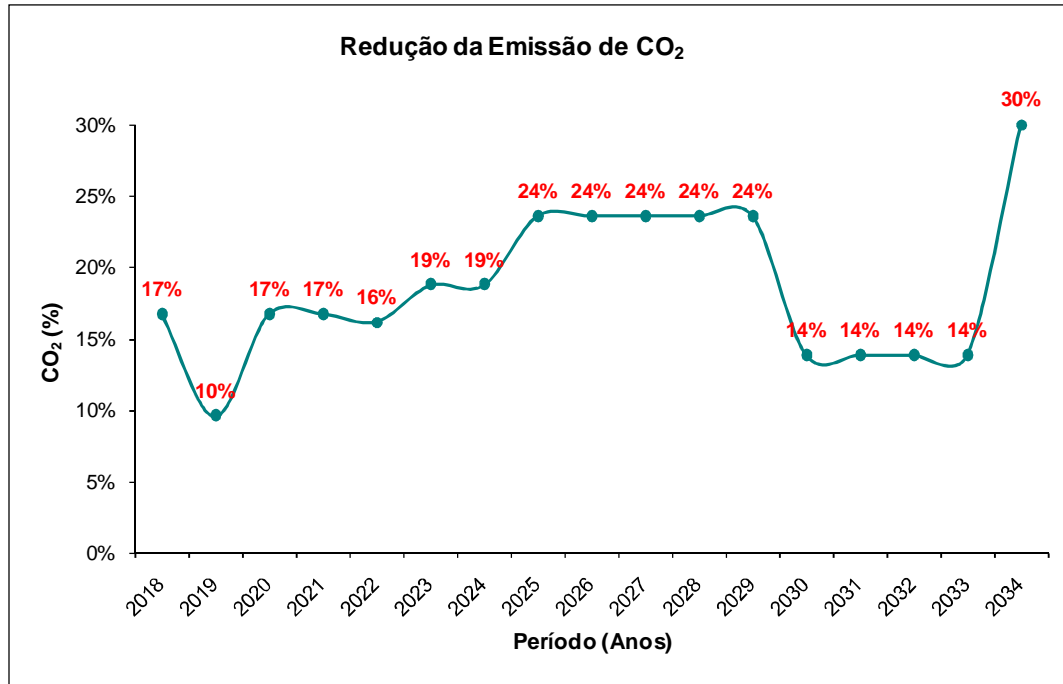
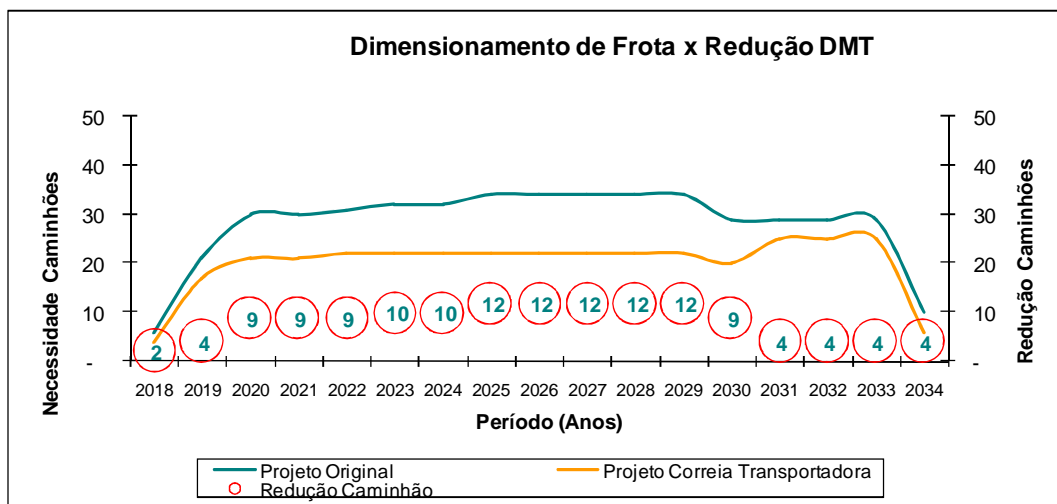


Figura 27: Redução Emissão CO<sub>2</sub> - Alternativa B

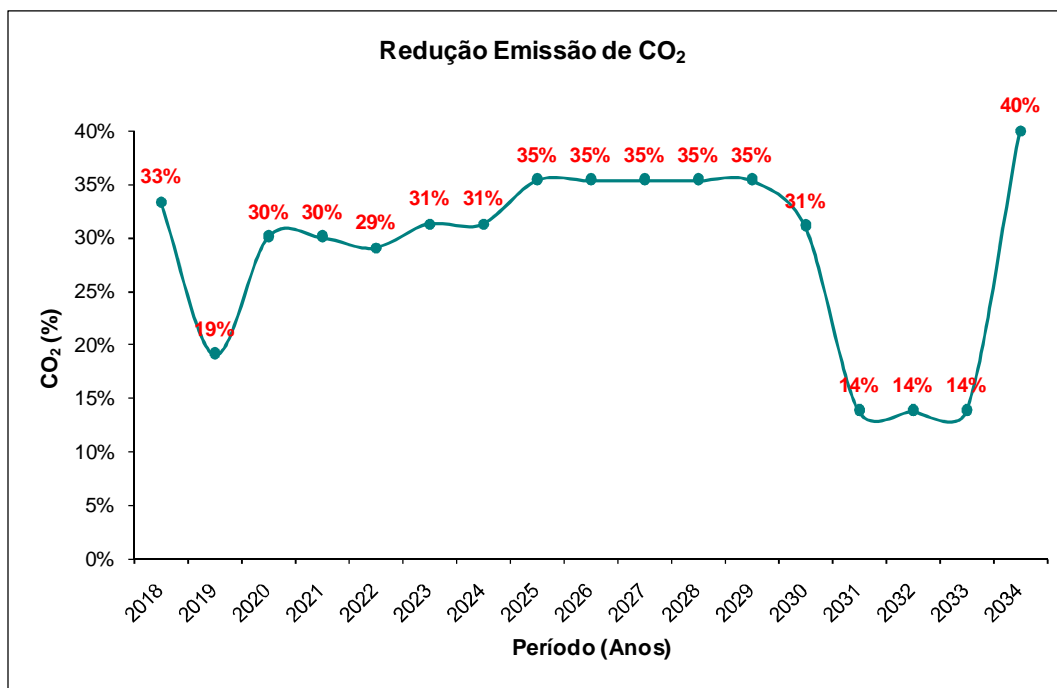
### C. Sistema de Britagem Móvel Dentro da Cava e Correias Transportadoras

A figura 28 mostra alta redução de caminhões fora de estrada ao longo dos anos.



**Figura 28: Redução Caminhão - Alternativa C**

De acordo com a figura 29, a alternativa C apresenta altos valores de redução de emissão de CO<sub>2</sub>.



**Figura 29: Redução Emissão CO<sub>2</sub> - Alternativa C**

Todas as três alternativas apresentaram uma redução significativa de emissão de CO<sub>2</sub>. Sendo assim, em termos de análise ambiental, todas as três alternativas devem ser

consideradas, mas em particular a alternativa C apresentou maior redução de emissão de CO<sub>2</sub>.

## 7.0. Considerações Finais

O estudo apresentou alternativas de posicionamento de britagem móvel *in pit* e *ex pit*, obtendo avaliações econômicas para os diferentes casos do estudo de correias transportadoras.

A análise incremental utilizada para a avaliação econômica das alternativas apresentadas possibilitou verificar de forma clara os resultados para o comparativo econômico de fluxos caixa entre as alternativas de transporte de ROM por caminhões fora de estrada e correias transportadoras.

Os resultados dos estudos econômicos realizados mostram que a alternativa C é a mais atraente e viável, principalmente porque há uma forte tendência de aumento de custos de combustível, mão de obra e pneus no Brasil.

A alternativa C reduzirá a distância média de transporte de minério em aproximadamente 4,7 km, e o custo operacional em US\$1,70/t de produto. A redução da emissão de CO<sub>2</sub> será de aproximadamente 29% e a eliminação dos caminhões para o transporte de minério aumentará a segurança da área operacional

As alternativas A e B não devem ser desconsideradas mesmo que não atendam do ponto de vista econômico, uma vez que as duas alternativas permitem a redução dos custos operacionais e obterão ganhos ambientais com a redução da emissão de CO<sub>2</sub>. A análise de sensibilidade mostra que, dependendo do cenário econômico dos custos dos investimentos em correia transportadora e dos custos operacionais de caminhões, estas alternativas podem tornar-se interessantes.

O estudo de caso apresenta diferentes opções para implantação de correias transportadoras em uma mina de ferro (Mina Fábrica). Recomenda-se a realização deste estudo em outras minas de ferro.

O estudo mostrou ganhos de segurança, econômicos e ambientais consideráveis, mostrando a capacidade de combater a tendência de alta nos custos operacionais. Os parâmetros de custo operacional de caminhões e investimento em correias transportadoras devem ser reavaliados constantemente devido a grande influência nos resultados.

As avaliações ambientais de todas as alternativas estudadas se mostraram atrativas. A alternativa C apresentou melhores resultados entre elas, possibilitando a redução de até 12 caminhões em um determinado período da vida útil da mina. Esta alternativa contemplou também a redução de até 35% de emissão de CO<sub>2</sub>.

Recomenda-se também, em trabalhos futuros, a realização de estudos de implantação de correias transportadoras de estéril, pois as massas de estéril e a distância de transporte tendem a aumentar ao longo dos anos.

## **Referências Bibliográficas**

ALKMIM, F.F. e MARSHAK, S. – Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Quadrilátero Ferrífero. Precambrian, 1998.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi. Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras, 2006

CASTEEL, K. New focus on in pit crushing systems. E&MJ.

COUTO JUNIOR, Arnor B., ROCHA, Antonio C and CHAUSSON, Daniel S., Strip Mine Method with IPCC System for Vale's Iron Ore Mines, 2011.

DAMODARAN, Aswath. Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo / Aswath Damodaran; tradução de Bazán Tecnologia e Lingüística (Carlos Henrique Trieschmann e Ronaldo de Almeida Rego); supervisão técnica de Eduardo Fortuna.- Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1997.

DORR II, J.V.N – Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS Professional Paper, 1969.

ENDO, I.– Projeto Congonhas – Universidade Federal de Ouro Preto, relatório interno, 2003.

FAUSTINI, Tarcísio. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ferroviária – Ferramentas para Suporte à Decisão, 2006.

FRIZZELL, E. M. & Martin, T. W. In pit crushing and conveying.

HARTMAN, Howard L., SME Mining Engineering Handbook 2nd Edition.

IMC – Independent Mining Consultants, 1985. In pit crushing and conveying mine planning and operations. Skillings Mining Review, June.

International Mining, June, 2009. IPCC innovations. Operation Foccus in pit crushing and conveying.

LAPPONI, J. C., Projetos de Investimento na Empresa, 2007.

LOPES, José Raimundo. Custo Operacional - Sistema de Britagem Semi Móvel Fora da Cava e Correias Transportadoras, 2012

Minerios & Minerales, Agosto/2008, Edição 307. Transportadores de correia mais versáteis e seguros

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

MORRISON, D.J., 2008. The use of continuous materials handling equipment in an open cut mining operation.

RICHARDSON, R. J. & Conder, R. E. *Evaluation of materials handling transportation systems*.Metso.

SAMANEZ. Carlos Patrício, Matemática Financeira: Aplicações à Análise de Investimentos. São Paulo : Prentice Hall, 2002.

SCHRÖDER.D., Economic and technologic aspects of bucketwheel excavator and crusher/conveyor systems, Krupp Fördertechnik.



TURNBULL, D. & Cooper, A., 2010. In pit crushing and conveying (IPCC) - A tried and tested alternative to trucks: part 1. The AUSIMM Bulletin, Journal of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, October, 2010.

TURNBULL, D. & Cooper, A., 2010. In pit crushing and conveying (IPCC) - A tried and tested alternative to trucks: part 2. The AUSIMM Bulletin, Journal of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, December, 2010.

VALE – Avaliação de Recursos e Reservas de Minério de Ferro do Complexo Itabiritos, 2010

VALE, Internal Report, Cava Final, Sequenciamento e Cálculo de Reserva – Mina Fábrica, 2008.

VALE and NCL BRASIL, Internal Report, Estudo Conceitual de Avaliação de Transportadores Contínuos na Mineração, 2010.

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