

ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE PROJETO COM BRITAGEM SECUNDÁRIA CONVENCIONAL E BRITADORES DE DUPLOS ROLOS TIPO SIZER¹

Dermeval Carneiro²
Eustacio Maia²
Haroldo Fernandes³
Noeber Orsine³
Jose Antonio Rodrigues⁴
Kesley Julianelli⁵
Leonardo Queiroz⁴
Marcelos Mattos⁴
Marco Túlio Santiago⁴
Pablo Mendes⁵
Regis Tavares⁶
Vagner Loyola⁴

Resumo

As operações de britagem secundária com minério de ferro geralmente utilizam em suas instalações britadores tipo cônicos, com peneiras ou grelhas para escalpe das frações finas. Este tipo de circuito pode contemplar prédios elevados com grande quantidade de equipamentos como: *trippers*, silos, alimentadores, peneiras, britadores cônicos, ponte rolante, etc. A aplicação de britadores tipo *sizer* tem a vantagem de reduzir as dimensões do prédio e dispensar o conjunto de equipamentos do circuito convencional. Sua aplicação em minério de ferro se restringe a poucas aplicações em minérios hidratados tipo pisolitos na Austrália (1). Este trabalho descreve os resultados dos estudos técnicos e econômicos desta alternativa, que levaram a substituição do circuito convencional por britadores de rolos dentados tipo *sizer* no projeto Adicional 30 Mta em Carajás. Esta opção levou a simplificação do circuito, reduzindo a quantidade e peso dos equipamentos, a altura do prédio da instalação e benefícios econômicos com a redução de capex da ordem de US\$ 11,5 milhões e Valor líquido Presente de US\$ 7,0 Milhões.

Palavras- chave: Britagem secundária; Britadores tipo *Sizer*.

COMPARATIVE STUDIES BETWEEN A CONVENTIONAL SECONDARY CRUSHING PROJECT AND TYPE SIZER TOOTHED DOUBLE ROLLS CRUSHERS

Abstract

The secondary crushing iron ore operations generally use, at its facilities, conic types crushers, with screens or grizzly's to scalp the fine fractions. This type of circuit can include tall buildings with lots of equipment such as trippers, bins, feeders, screens, crushers, cranes, etc. The application of double-toothed roll, hybrid or type *sizer* crushers has the advantage of reducing dimensions of the building and dispenses the conventional circuit's equipment. Its use for iron ore is restricted to few applications in hydrated minerals such as pisolite in Australia. This paper describes the results of technical and economic studies of this alternative, which led to the replacement of conventional circuit breakers by *sizer* toothed rolls crushers in the project Additional 30 Mty, in Carajas. This option led to simplification of the circuit, reducing the amount and weight of equipment, the installation height of the building, and economic benefits by reducing capex of approximately US\$ 11,5 million and net present value of US\$ 7,0 million.

Key words: Secondary crushing; *Sizer* Type crushers.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES

² Equipe de Engenharia do Projeto Adicional 30 Mtpa, Vale, Brasil;

³ Equipe de Prontidão Operacional Projeto Adicional 30 Mtpa, Vale, Brasil;

⁴ Equipe Desenvolvimento de Processo Mineral Ferrosos, Vale, Brasil;

⁵ Engenharia de Processo Mineral Carajás Vale, Brasil;

⁶ Desenvolvimento de Projetos Ferrosos Vale, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Britadores de Duplo Rolos dentados, Híbrido ou tipo *sizer* tem aplicações restritas em britagens de minérios de ferro, o seu grande mercado são as usinas industriais de minérios coesivos e de baixa abrasividade como níquel, bauxita, carvão, ouro etc.⁽¹⁾

Estes equipamentos tem aplicações com capacidades superiores a 12.000 t/h na posição de britadores primários utilizados nas operações de *Oil sands* no Fort McMurray em Alberta no Canadá, britando materiais com alta abrasividade com alta coesão e em temperaturas inferiores a 20 graus negativos.⁽²⁾

As operações com britadores tipo *sizer* em minério de ferro se limitam a empresas Australianas, na região de Pilbara em minérios pisolitos.⁽¹⁾

Os estudos para validação deste equipamento são as determinações do Índice de Abrasividade, Resistência a Compressão Uniaxial e a execução de ensaios contínuos em equipamento piloto com amostras de grandes volumes.⁽³⁾

A Vale decidiu avaliar a aplicabilidade dos britadores tipo *sizer* na função de britagem secundária do projeto Adicional 30 Mtpa em Carajás, objetivando simplificar sua operação e instalação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Coletadas amostras em Carajás para determinações do índice de abrasividade e de resistência a compressão para hematitas.

Executadas amostragens na britagem secundária atual de Carajás para fechamento de balanços de massas para o projeto Adicional 30 Mtpa e comparação com os resultados granulométricos dos testes em escala piloto.

Realizados testes em escala piloto com aberturas de 50 mm e 75 mm, com o objetivo de comparar a distribuição granulométrica dos produtos.

2.1 Projeto Adicional 30 Mtpa

Novo projeto que considera investimentos na instalação de uma nova usina industrial, em Carajás, composta por: britagem primária, britagem secundária, unidades de beneficiamento, pátios de estocagens de produto e sistema de carregamento de vagões. O projeto está em fase de implantação com previsão de *start up* em 2013.

2.2 Premissas do Projeto

- Horas trabalhadas das Britagens Primária e Secundária: 6.000 h/ano;
 - Rendimento operacional das Britagens Primária e Secundárias: 68,5%;
 - Capacidade nominal das Britagens Primária e Secundária: 7.500 t/h;
 - Pátio de Regularização de Alimentação da usina: 48 horas;
 - Disponibilidade física da Britagem Secundária convencional: 92,0%.
- Este projeto foi repotenciado para produção de 40 Mtpa.

2.3 Fluxograma de Processo

As Figuras 1 e 2 mostram os fluxogramas de processo do projeto Adicional 30 Mtpa dos circuitos das britagens avaliadas.

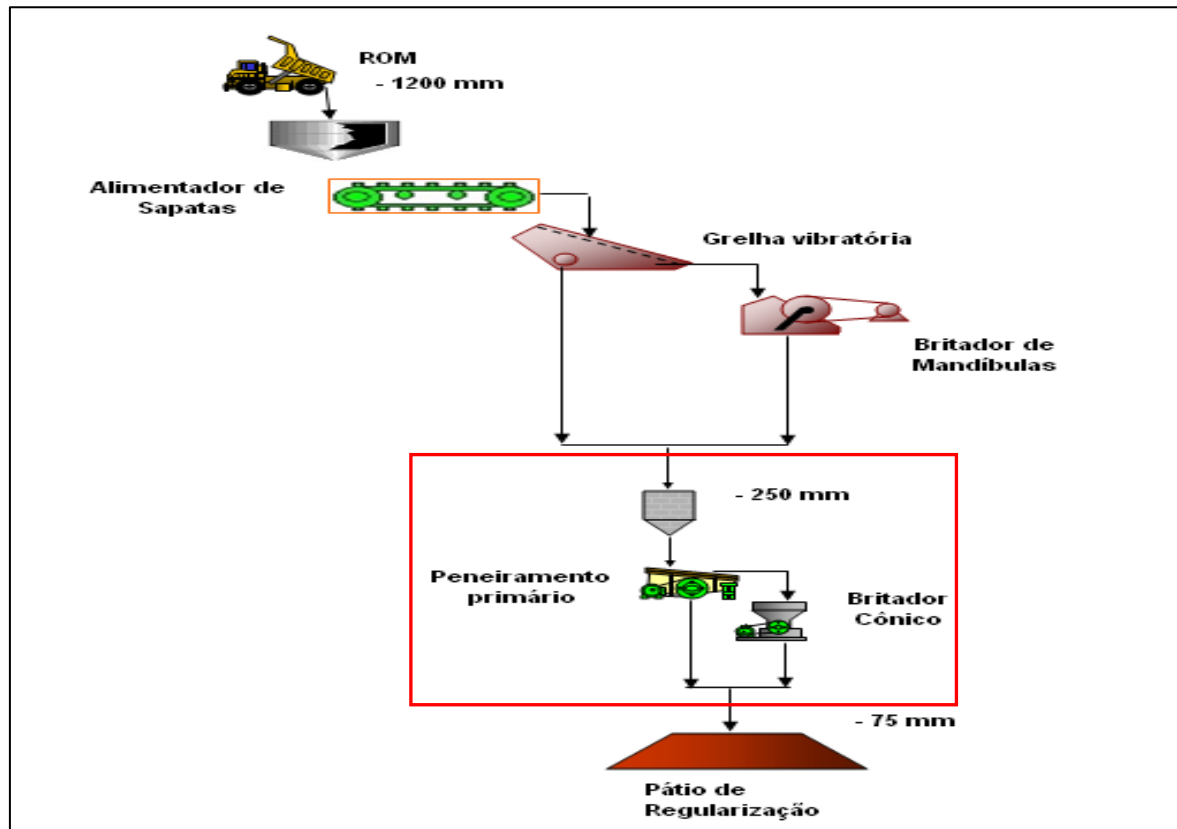


Figura 1. Fluxograma com britagem secundária convencional.

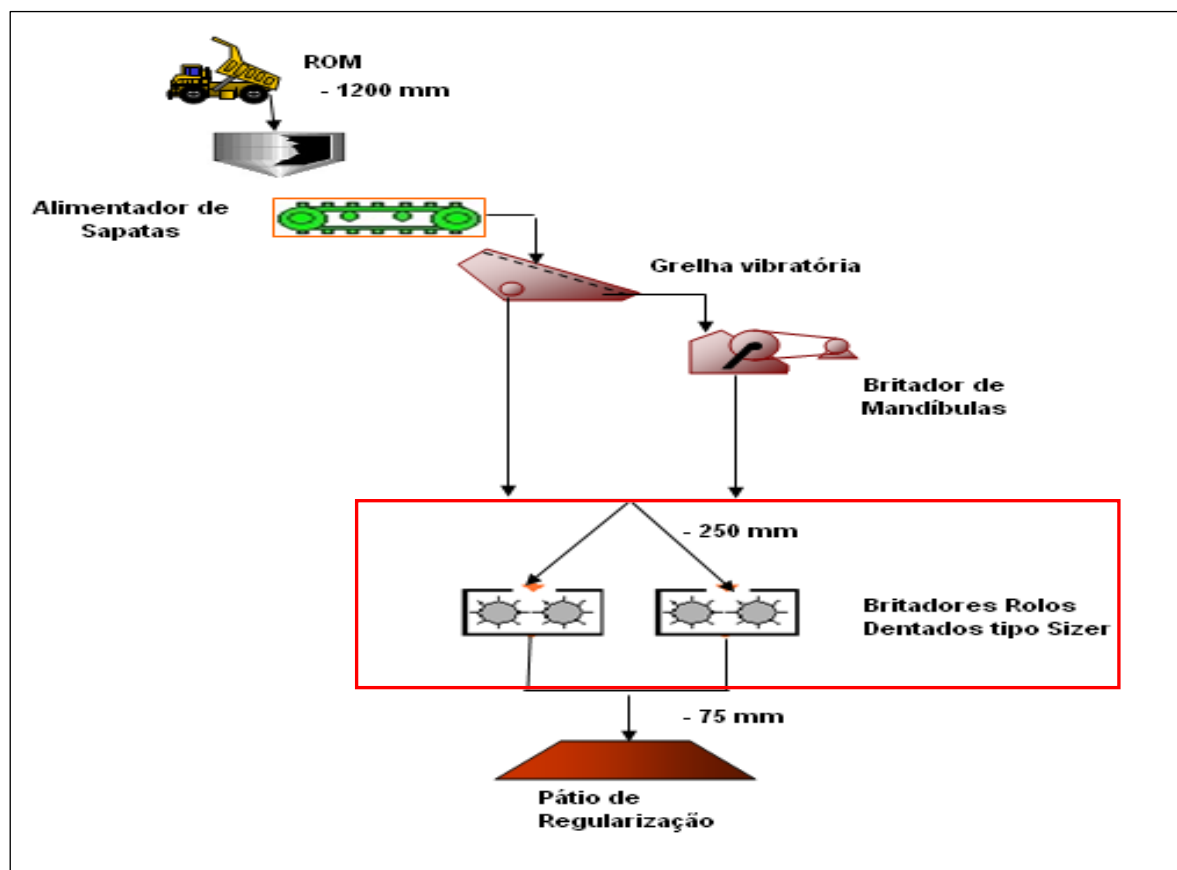


Figura 2. Fluxograma com britadores sizer.

2.4 Lista de Equipamentos de Processo

As Tabelas 1 e 2 mostram o quantitativo de equipamentos para os dois circuitos.

Tabela 1. Lista de equipamentos circuito para o circuito de britagem convencional

Equipamentos	Quantidade	Capacidade unitária	Unidade
Transportador de correia longa distância	4	8000	t/h
Silo metálico	2	1.700	m ³
Transportador de correia para alimentação silo	1	8.000	t/h
Alimentadores de Correia	2	4.000	t/h
Peneira de escalpe 12' x 27', 1 deck	3	4.000	t/h
Britador Cônico (APF em 50 mm)	2	450.0	t/h
Transportador de correia do produto dos britadores cônicos	1	500	t/h
Transportador de correia de <i>undersize</i> do peneiramento primário	1	7500	t/h

Tabela 2. Lista de equipamentos para o circuito utilizando britadores tipo *sizer*

Equipamentos	Quantidade	Capacidade Unitária	Unidade
Transportador de correia longa distância	4	8000	t/h
Chute divisor de fluxo com duas saídas para alimentação dos britadores	1	8000	t/h
Britador <i>sizer</i>	2	4.000	t/h
Transportador de correia do produto da britagem tipo <i>sizer</i>	1	8000	t/h

2.5 Balanços de Massas do Projeto

A Tabela 3 mostra a partição de massas do circuito de britagem convencional, indicando a massa a ser efetivamente cominuída em 6,2%.

Tabela 3. Balanço de massas para o circuito de britagem convencional

Fluxos	t/h	% Massa	% H ₂ O
<i>Run of Mine</i>	7.500	100,0	9,0
Undersize grelha vibratória	6.750	90,0	9,2
Oversize grelha vibratória	750	10,0	7,2
Produto britagem primária	7500	100,0	9,0
Oversize peneira primária	465	6,2	6,0
Undersize peneira primária	7.035	93,8	9,2
Produto britagem secundária	7.500	100,0	9,0

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterizações das Amostras

As Tabelas 4 e 5 mostram os resultados dos ensaios laboratoriais dos índices de abrasividade, e dos testes de resistência a compressão uniaxial segundo as normas ABNT NBR 12767 e ASTM C-170, com amostras de hematita compacta.

3.1.1 Índice de abrasividade - metodologia de *bond* – ai (g)

A Tabela 4 mostra que os valores do índice de abrasividade são considerados de média abrasividade (0,20 g a 0,35g)

Tabela 4. Índice de abrasividade - metodologia de Bond (g)

Amostra	Lab. 1	Lab. 2	Lab. 3	Lab. 4
Hematita compacta	0,343	0,219	0,342	0,236

3.1.2 Resistência a compressão uniaxial – UCS (MPa)

A Tabela 5 apresenta os valores de resistência à compressão uniaxial, resultados considerados como resistentes a compressão (50 MPa a 100 MPa).

Tabela 5. Índice de Resistência a compressão (MPa)

Amostra	Lab. 1	Lab. 2	Lab. 3	Lab. 4
Hematita compacta	72,4	74,9	118,3	72,0

3.2 Testes em Escala Piloto

A Figura 3 mostra as curvas granulométricas comparativas dos produtos das britagens dos dois circuitos, a curva granulométrica de britagem convencional é de amostragem na britagem secundária de Carajás e a curva granulométrica dos britadores *sizer* são resultados de testes em equipamento piloto.

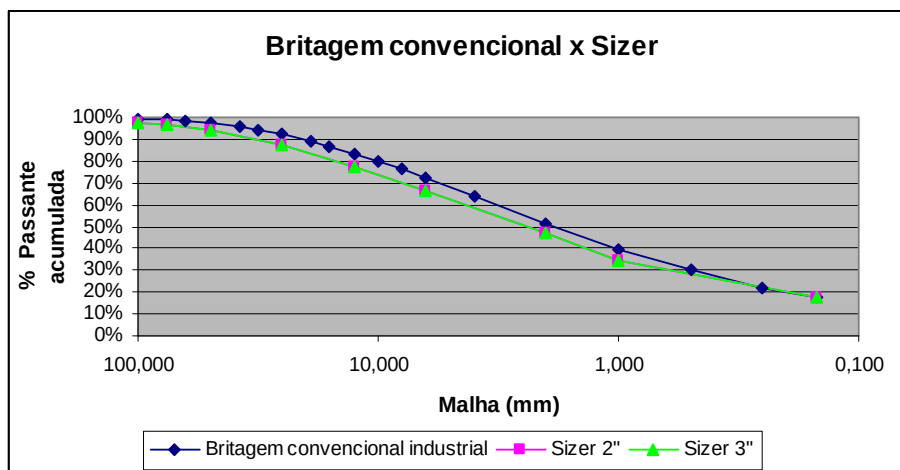


Figura 3. Curvas granulométricas dos circuitos de britagem convencional de Carajás e resultados dos testes piloto com britador *sizer*. Os resultados comparativos das curvas granulométricas dos produtos dos circuitos de britagens convencional e *sizer* atendem as especificações granulométricas do projeto.

3.3 Estudos de Engenharia do Projeto

3.3.1 Prédio da britagem secundária convencional

A Figura 4 a seguir mostra o arranjo mecânico dos prédios da britagem secundária convencional.



Figura 4. Arranjo mecânico do prédio da britagem secundária convencional.

3.3.2 Prédio da britagem com britadores tipo sizer

A Figura 5 a seguir mostra o arranjo mecânico dos prédios da britagem secundária com instalação de britadores tipo sizer.

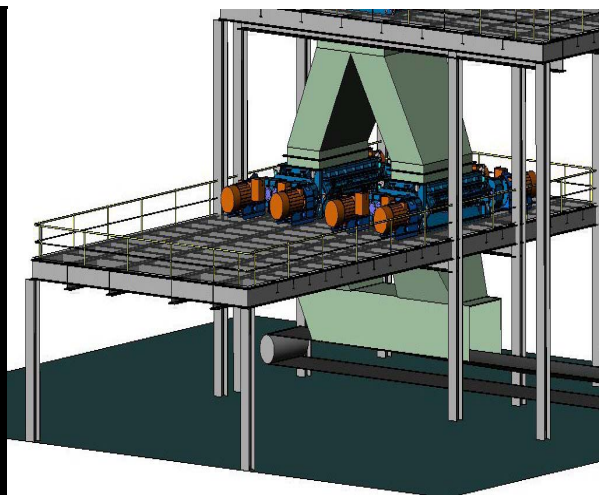
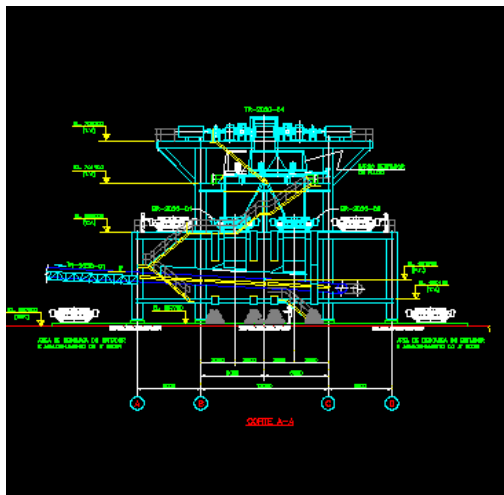


Figura 5. Arranjo mecânico do prédio com britadores sizer.

3.3.3 Comparação dos arranjos dos prédios das britagens

A Tabela 6 apresenta uma comparação entre os arranjos dos prédios dos dois circuitos de britagens, indicando reduções significativas na altura e na área do prédio, no volume de concreto, no peso de estrutura metálica e no quantitativo dos equipamentos.

Tabela 6. Comparação dos arranjos dos prédios das britagens

Variáveis	Britagem convencional	Britagem Sizer	Diferença	Redução (%)
Altura do prédio	49,7 m	18,5 m	31,2 m	(62,8)
Área do prédio	956,5 m ²	360,0 m ²	596,5 m ²	(62,4)
Volume de concreto	2050 m ³	992 m ³	1058 m ³	(51,6)
Estrutura metálica	1368 t	475 t	893 t	(65,3)
Total de equipamentos	18	8	10	(55,6)

3.3.4 Disponibilidade física

A Figura 6 apresenta um gráfico comparativo das britagens com o custo operacional (*opex*), a disponibilidade física e número de trocas de segmentos de dentes/ano. O gráfico indica que o aumento de 100% nas trocas anuais de segmento de dentes de quatro unidades para oito, gerará uma disponibilidade física de 96%, ainda superior a DF da britagem convencional do projeto.

Premissas adotadas:

- previsão do intervalo de troca dos segmentos dentes: 90 dias por equipamento;
- tempo para substituição de segmento de dentes: 10 horas;
- disponibilidade física britagem convencional: 92,0%; e
- disponibilidade física britadores tipo *Sizer*: 97,0%.

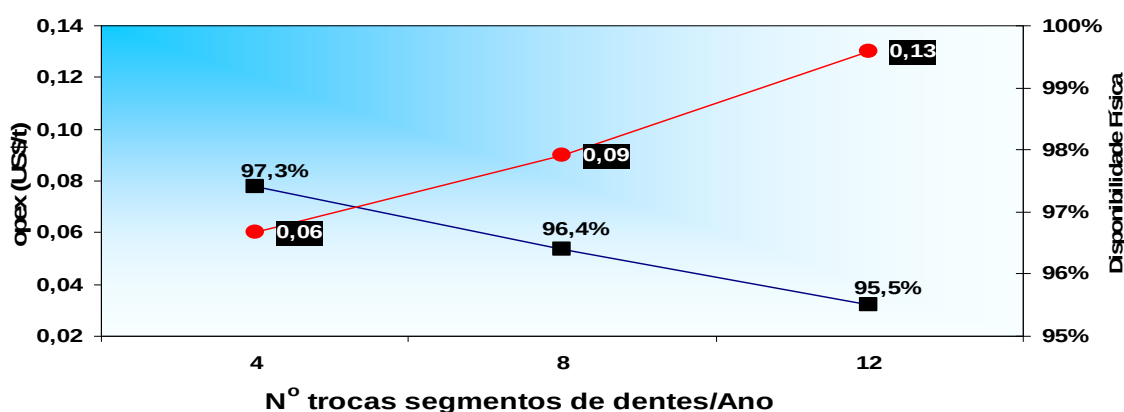


Figura 6. Gráfico do custo operacional (*opex*) x Disponibilidade Física e nº de trocas de dentes/ano do britador *sizer*.

3.3.5 Comparação do efetivo de mão de obra

A Tabela 7 mostra a comparação do efetivo de mão de obra para manutenção e operação nas britagens avaliadas, baseados no dimensionamento de pessoal feito pela Equipe de Prontidão Operacional do projeto Adicional 30 Mtpa.

Tabela 7. Comparativo do efetivo de mão de obra do Projeto Adicional 30 Mtpa

Mão de obra	Britagem Convencional	Britagem <i>sizer</i>	Redução
Efetivo de pessoal	34	21	13

4 ANÁLISE ECONÔMICA

Executada análise econômico-financeira das alternativas de britagem secundária do projeto, segundo as premissas como cenários, horizonte de análise, custos operacionais, investimentos necessários.

A metodologia utilizada será por fluxo de caixa descontado, com a utilização das ferramentas de VPL (Valor Presente Líquido) e análise de sensibilidade.

Premissas: horizonte de análise de 20 anos, baseado nas estimativas de reservas do projeto e cotação adotada R\$/US\$ de 1,80.

4.1 Custos Operacionais – Opex

Comparativo dos custos operacionais das britagens secundárias detalhados por natureza, os gastos com energia elétrica, materiais e pessoal.

Há um aumento nos gastos com materiais devido à maior troca de segmentos de dentes dos britadores *sizer*, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 8. Comparativo dos custos operacionais da britagens secundárias

Custo operacional (US\$/t)	Britagem Convencional	Britagem sizer	Diferença
Pessoal	0,0270	0,0160	0,0110
Consumo de energia elétrica	0,0074	0,0075	(0,0001)
Consumo de materiais	0,0100	0,0350	(0,0250)
Total	0,0440	0,0590	(0,0150)

4.2 Investimentos de Capital - Capex

A Tabela 9 apresenta a comparação do investimento de capital das alternativas de britagens estudadas em R\$ com impostos inclusos.

A alternativa de britagem *sizer* apresenta um *capex* inferior em 38% em relação ao *capex* da britagem convencional, essa redução é explicada pelas menores dimensões do prédio e da redução do número de equipamentos.

Tabela 9. Comparação do investimento de capital das alternativas de britagens

Item	Britagem convencional	Britagem Sizer	Diferença
Concreto (MR\$)	3.655,56	1.644,34	2.011,22
Equipamentos mecânicos (MR\$)	20.485,89	16.441,41	4.044,48
Equipamentos elétricos (MR\$)	1.179,84	1.401,37	-221,53
Instrumentação/Automação (MR\$)	1.181,93	1.007,36	174,57
Estruturas Metálicas (MR\$)	12.986,50	5.094,89	7.891,61
Calderaria (MR\$)	6.795,76	4.117,54	2.678,22
Tubulação (MR\$)	91,47	41,38	50,09
Montagem Eletromecânica (MR\$)	15.012,31	8.545,01	6.467,30
Total (MR\$)	61.389,26	38.293,29	23.095,97
Total (MUS\$)	30.694,63	19.146,65	11.547,98

4.3 Resultados Econômico-Financeiros

A Tabela 10 mostra a comparação do VPL das alternativas do projeto resultando em VPL maior em US\$ 7,0 Milhões para alternativa de britagem *sizer*. Nesta comparação não foi considerado a receita gerada com a produção do projeto, apenas o investimento e custo operacional das duas alternativas, desta forma os VPL's apresentarão valores negativos.

Tabela 10. Comparação do VPL das alternativas de britagens

Indicador	US\$ MM
VPL Britagem Convencional	- 29,2
VPL Britadores Sizer	- 22,1
VPL Diferencial	7,0

4.4 Análises de Sensibilidade

A análise de sensibilidade simula a variação das principais variáveis que influenciam no VPL das alternativas, como *capex* e *opex* (pessoal e materiais).

4.4.1 Análise de sensibilidade quanto à variação do *capex*

A Figura 7 mostra análise de sensibilidade quanto à variação do *capex*.

Para que o VPL diferencial seja igual a zero, temos que aumentar o *capex* da alternativa de britador *sizer* em 47%, passando de US\$ 19,1M para US\$ 28,1M.

Para um *capex* menor que esse valor, a opção de britador *sizer* será a melhor.

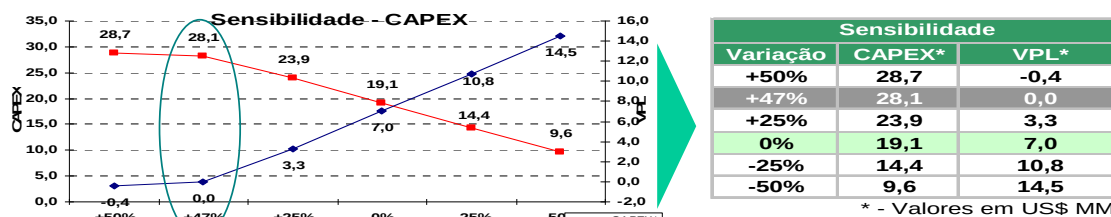


Figura 7. Análise de sensibilidade quanto a variação do Capex.

4.4.2 Análise de sensibilidade quanto à variação do *opex*

A Figura 8 mostra análise de sensibilidade quanto à variação do *opex*.

Para que o VPL diferencial seja igual a zero, temos que variar o *opex* da alternativa de britador *sizer* em 97%, passando o custo de US\$ 0,06/t para US\$ 0,12/t. Para um *opex* menor que este, a opção de britador *sizer* será a melhor.

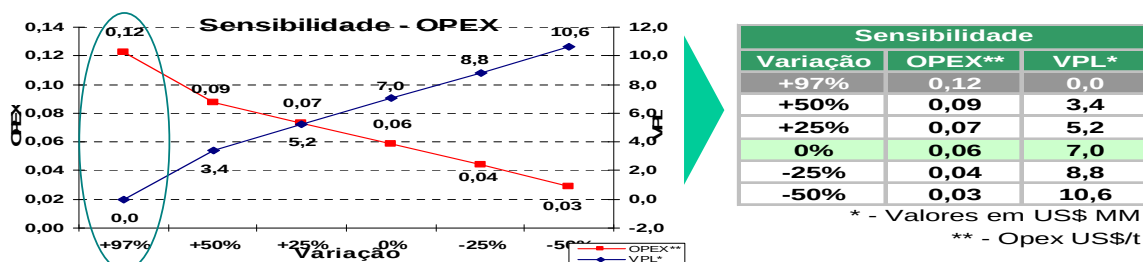


Figura 8. Análise de sensibilidade quanto a variação do opex.

4.4.3 Análise de sensibilidade do *opex* - variação do consumo de material de desgaste

A Figura 9 mostra análise de sensibilidade do *opex* com a variação do consumo de material de desgaste, que projeta a troca dos kit's dos dentes a cada três meses por ano. Para que o VPL diferencial seja igual a zero, temos que aumentar a frequência de troca de quatro para onze.

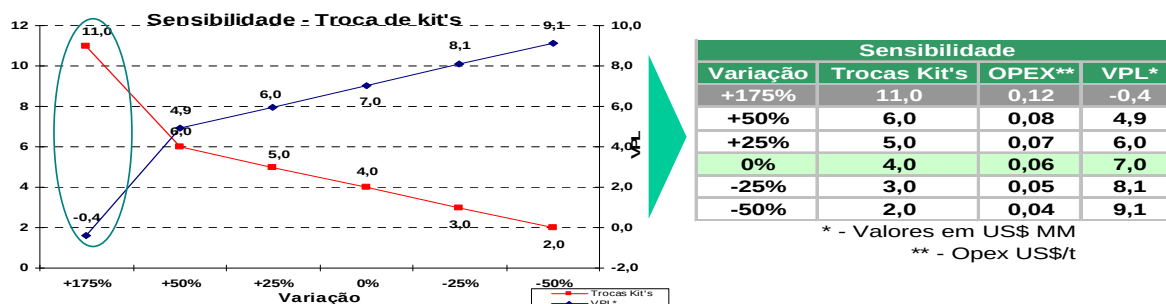


Figura 9. Análise de sensibilidade quanto à variação do *opex* com a variação do consumo de material de desgaste.

4.4.4 Análise de sensibilidade do opex - variação do gasto com internação do material de desgaste

A Figura 10 apresenta a análise de sensibilidade do opex quanto ao material de desgaste, foi onerado o gasto com internação de 40%. Para que o VPL diferencial seja negativo, o gasto com internação deveria passar de 40% para 270%.

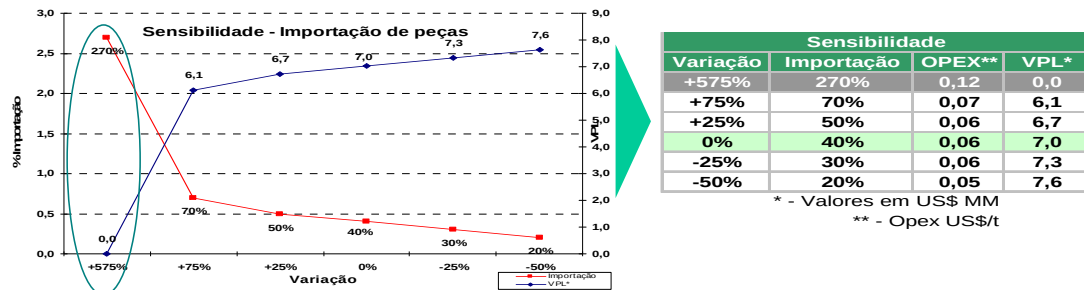


Figura 10. Análise de sensibilidade quanto à variação do opex quanto ao material de desgaste.

4.4.5 Análise de sensibilidade do opex com variação do efetivo de pessoal

A Figura 11 mostra a análise de sensibilidade do opex quanto à variação do efetivo de pessoal na operação e manutenção.

Para que o VPL diferencial seja negativo o pessoal envolvido na atividade de britagem da alternativa sizer deveria aumentar de 21 para 94.

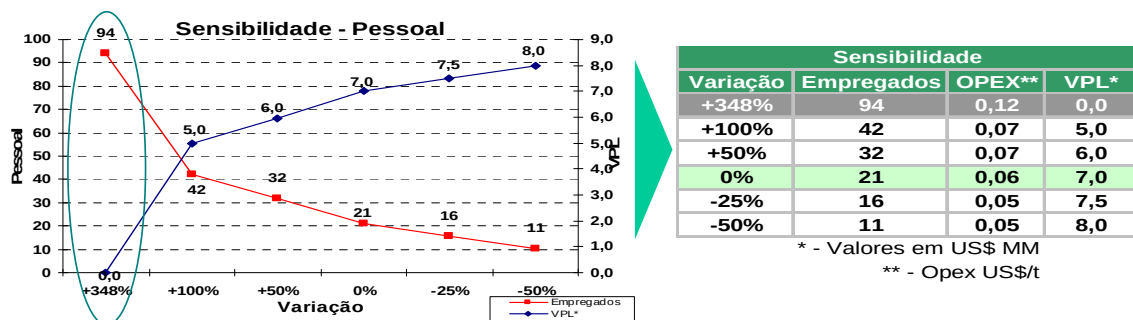


Figura 11. Análise de sensibilidade quanto a variação do opex Variação do efetivo de pessoal.

5 CONCLUSÃO

A utilização de britadores de duplos rolos dentados ou o tipo sizer poderá ser uma opção técnica e economicamente viável para simplificação de circuitos de britagem de minérios de ferro segundo os parâmetros técnicos avaliados: índices de abrasividade e de resistência a compressão.

A alternativa da utilização de dois britadores tipo sizer substituindo todo o circuito de britagem cônica convencional no projeto Adicional 30 Mtpa foi validada tecnicamente e economicamente atendendo a todos os parâmetros investigados.

A implantação da alternativa com britadores sizer levará a redução do quantitativo de equipamentos em 44% e 38% do efetivo de mão de obra.

A redução no capex da alternativa com britadores sizer foi de US\$ 11,5 milhões, redução de 38%.

A alternativa com britagem sizer resultou em aumento de 34% no opex devido a gastos com materiais sobressalentes considerando a garantia de desgaste dos componentes informada pelo fabricante.

A alternativa estudada trouxe benefícios para a engenharia de projeto com a redução: na altura do prédio em 31.0 m, de peso de estrutura metálica em 893 toneladas bem

como no prazo de implantação do prédio da instalação em relação à britagem convencional.

O resultado de fluxo de caixa diferencial da alternativa com britadores tipo sizer apresentou Valor Liquido Presente de US\$ 7,0 milhões.

REFERÊNCIAS

- 1 Relatórios de visitas técnicas em operações de britagens tipo sizer com minério de ferro na Austrália;
- 2 Relatórios de visita técnica em plantas em operação com britadores de duplos rolos dentados e Híbridos na Alemanha e França.
- 3 Estudos de viabilidade de Britadores primários de Duplos Rolos dentados, Híbrido ou tipo sizer para projeto S11D.