

## 4.

### Metodologia Proposta

#### 4.1.

##### Abordagem da Metodologia

O alicerce desta pesquisa é o desenvolvimento de uma metodologia que seja capaz de simular o preço da tonelada de minério de ferro no longo prazo e com base em algumas análises de sensibilidade sobre o seu comportamento no tempo, avaliar o impacto sobre a viabilidade dos projetos de investimento inseridos no contexto da cadeia logística desta *commodity*. A metodologia pode ser subdividida em quatro partes:

1ª etapa (modelagem): consiste em criar um modelo de previsão do preço da tonelada de minério de ferro baseado em um processo estocástico que seja adequado, e reflita ao máximo as características mercadológicas desta *commodity* e também ao seu comportamento histórico observado. Um processo que possa ser construído combinando um ou mais conceitos teóricos levantados na literatura.

2ª etapa (simulação): em seguida envolve uma simulação do preço futuro da *commodity* utilizando dados históricos de preço da tonelada de minério de ferro coletados de no mínimo vinte anos, aberto mês a mês, com uso do método estatístico por meio de amostras aleatórias baseado no modelo estocástico construído. Para efetuar a simulação faz-se necessário também selecionar a ferramenta de computação que seja capaz de processar a massa de dados coletada.

3ª etapa (análise de sensibilidade): já com o modelo pronto e a ferramenta de simulação selecionada o próximo passo consiste em fazer uma análise de sensibilidade com alguns cenários alternativos para avaliar o comportamento do preço alternando alguns valores de variáveis tais como volatilidade e constância.

4ª etapa (análise de viabilidade): a última etapa cabe o confronto dos cenários calculados com os investimentos e custos da cadeia para avaliar o risco de projetos criando alguma forma de classificação que possa servir como referência. Em função do

elevado número de variáveis contidas em um estudo de viabilidade econômico-financeira e pelo fato dos projetos ferroviários serem puxados pelos projetos de produção e implantação de terminais de carga e descarga de clientes mineradores, cabe fazer uma simplificação dos componentes de investimento e custo, agrupando-os em duas grandes classes ( *CAPEX* e *OPEX* ).

## 4.2.

### Modelagem de Previsão de Preço

O ponto de partida para construção do modelo de precificação é identificar a natureza do processo estocástico. A análise de comportamentos de preço de *commodities* possui duas correntes na literatura. A mais antiga atribui a evolução do preço ao balanceamento entre oferta e demanda, já a segunda, que está mais presente na literatura moderna, explora a análise de séries temporais. Para a linha de pesquisa desta dissertação admitiremos que os preços de minério de ferro obedecem a processos estocásticos e devem seguir movimentos de reversão à média (MRM) ou movimentos de reversão à média com saltos (MRS) considerando que há expectativa constante de que no longo prazo o preço da *commodity* corrente retorne ao seu valor médio histórico.

Partindo da equação de Ornstein-Uhlenbeck (8) para um movimento de reversão à média (MRM), segundo Dixit & Pindyck (1994), segue:

$$dX = \eta(\bar{X} - X)dt + \sigma dz \quad (20)$$

onde:

$\eta$  = velocidade de reversão á média da variável estocástica

$\bar{X}$  = média da variável estocástica de longo prazo

$\sigma$  = volatilidade da variável estocástica

$dz$  = incremento de Wiener

Sendo  $P_t$  o preço da commodity no instante  $t$ , é possível calcular o logaritmo de cada série de preço e elaborar a equação (21):

$$\ln(P_t) = a + b \ln(P_{t-1}) + \xi_t \quad (21)$$

onde:

$\xi_t$  = variável aleatória com distribuição normal e média igual a zero.

$0 < b < 1$ .

Com isso, pode-se fazer uma regressão através da seguinte equação:

$$\ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) = a + (b-1)\ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (22)$$

Obtendo os valores estimados dos coeficientes  $a$  e  $b$  pela regressão (22), e utilizando a volatilidade da série temporal, as equações (23), (24) e (25) podem ser usadas para calcular os três parâmetros do MRM (Dixit & Pindyck, 1994).

$$\text{Velocidade de reversão à média: } \eta = \ln(b) \times N \quad (23)$$

$$\text{Volatilidade: } \sigma_\varepsilon^2 = -(1-b^2) \left( \frac{\sigma^2 N}{2 \ln(b)} \right) \quad (24)$$

$$\text{Preço médio de longo prazo: } \bar{P} = \exp[(a + 0,5\sigma^2 / N) / (1-b)] \quad (25)$$

onde:  $N$  é o número de dias equivalente ao período.

Mas com intuito de tornar o modelo mais realista, requer a atribuição de saltos discretos no processo de previsão de acordo com as características do mercado de mineração tais como momentos de renegociação em massa dos contratos de longo prazo, retenção de crédito do governo chinês provocando a redução de consumo de bens duráveis ou novas crises globais. Informações convencionais que circulam no mercado são consideradas “normais” e resultam em processos de reversão à média, enquanto, informações “anormais” causam saltos discretos de tamanho aleatório.

Para modelar um processo de reversão à média com saltos (MRS) pode ser usado o processo de Ornstein-Uhlenbeck adicionando o termo de saltos aleatórios na equação (20) e obter a equação (26). Este termo  $dq$  refere-se ao processo de Poisson e tem tamanho aleatório e é independente do incremento  $dz$  (Dixit & Pindyck, 1994).

$$dX = \eta(\bar{X} - X)dt + \sigma dz + dq \quad (26)$$

Os parâmetros podem ser os mesmos apresentados nas equações (23), (24) e (25). A equação demonstra a existência de uma variável  $\eta$  com força de reversão que tende a levar o preço médio para o longo prazo e o termo  $dq$  representa os saltos que podem ocorrer (na maioria das vezes é zero) aleatoriamente com tamanho  $\varphi$  e taxa de ocorrência  $\lambda$  que é a frequência que o salto pode ocorrer em um intervalo infinitesimal  $dt$ . A probabilidade de ocorrer ou não ocorrer pode ser dada por:

- a)  $dq = 0$  , com probabilidade  $1 - \lambda dt$  .
- b)  $dq = \varphi$  , com probabilidade  $\lambda dt$  .

### 4.3.

#### Simulação

A simulação de Monte Carlo foi desenvolvida em contexto de risco-neutro, ou seja, admitindo-se que a taxa de risco não é conhecida. Essa metodologia é mais utilizada para valorar opções e derivativos. Uma opção é o direito de um avaliador fazer uma operação em certas condições pré-definidas, e sendo assim um projeto de investimento pode ser visto como um conjunto de opções reais, entre elas, adiar, cancelar etapas ou até mesmo abandonar o projeto. Para análises de risco é mais adequado utilizar uma simulação real.

A proposta para estimar o valor futuro do preço foi baseada na equação (27) (Dixit & Pindyck, 1994). Deve-se ressaltar que a simulação com risco-neutro é mais conservadora do que a simulação real.

$$P(t) = \exp \{ [\ln[P(t-1)] \exp[-\eta\Delta t]] + [[\ln(\bar{P}) - ((\mu - r)/\eta)](1 - \exp[-\eta\Delta t])] - [(1 - \exp[-2\eta\Gamma])\sigma^2/4\eta] + \sigma(\sqrt{(1 - \exp[-2\eta\Delta t])/2\eta})N(0,1) \} \quad (27)$$

onde:

$\eta$  = velocidade de reversão à média;

$\sigma$  = volatilidade dos preços;

$\bar{P}$  = preço médio de longo prazo;

$N(0,1)$  = distribuição normal padrão (0.1);

$\Delta t$  = intervalo de tempo;

$\mu$  = taxa de flutuação;

A simulação MRS proposta neste estudo foi feita com algumas pequenas alterações na equação (27) para introduzir o termo correspondente aos saltos de Poisson, chegando a equação (28) (Dixit & Pindyck, 1994).

$$P(t) = \exp \{ [\ln[P(t-1)] \exp[-\eta\Delta t]] + [(\ln(\bar{P}) - ((\mu - r)/\eta))(1 - \exp[-\eta\Delta t])] + \text{saltos} - [(1 - \exp[-2\eta\Delta t])(\sigma^2 + \lambda E[\varphi^2])/4\eta] + \sigma(\sqrt{(1 - \exp[-2\eta\Delta t])/2\eta})N(0,1) \} \quad (28)$$

Onde o termo  $(\mu - r)/\eta$  onde  $r$  representa a taxa de risco livre.

A base utilizada para a simulação do preço futuro da tonelada de minério de ferro foi o histórico dos preços médios reais praticados para a Europa e Ásia. A figura 26 ilustra o comportamento histórico real do preço transoceânico no período entre setembro de 2000 e fevereiro de 2012.

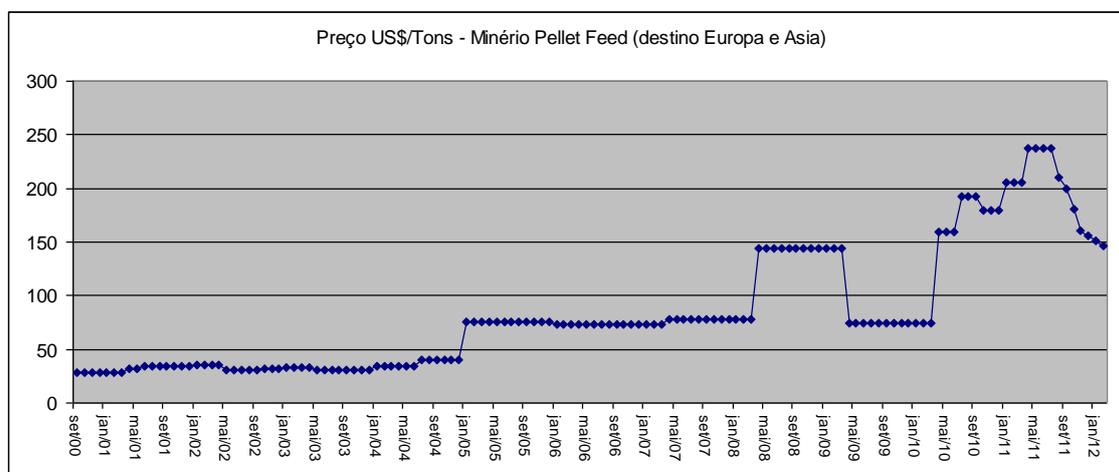


Figura 26 – Histórico de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia. Fonte: Business Steel

Durante os primeiros anos o preço se manteve no patamar de 30 dólares por tonelada até o início do ano de 2005, e em seguida subiu para 75 dólares por tonelada. Com o aquecimento da economia nos anos de 2007 e 2008 e a forte demanda de minério para a Ásia, principalmente, o preço continuou em ritmo de crescimento atingindo 150 dólares.

No entanto, com o início da crise dos subprimes no final de 2008, o preço reduziu drasticamente, retornando para 75 dólares até o começo do ano de 2010, quando a economia sinalizou uma nova fase de reaquecimento. A partir deste momento surgem saltos de crescimento chegando ao valor recorde histórico de 240 dólares por tonelada. E novamente, com o surgimento de nova crise política e fiscal na Europa em 2011, devido ao elevado grau de endividamento de alguns países da comunidade europeia, e também frente ao elevado nível de estoques de minério de ferro na China, o preço voltou a cair em ritmo acelerado, retornando novamente ao valor de 150 dólares por tonelada no início de 2012. Os preços históricos reais deste período serviram como base de estimação para os parâmetros da equação 28, conforme fórmulas da tabela 1.

<b>Parâmetro Estimado</b>	<b>Fórmula</b>
Velocidade de reversão	$\eta = -\ln(b)/\Delta t$
Volatilidade	$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \ln(b)}{(b^2 - 1)\Delta t}}$
Média de longo prazo	$\bar{x} = \exp\left(-\frac{a}{(b - 1)}\right)$

Tabela 1: quadro resumo para a estimação de parâmetros do MRM.

Os valores dos parâmetros MRS foram obtidos a partir dos dados ilustrados na tabela 2. Em seguida foi feita uma simulação do preço futuro. A curva que ilustra como será o comportamento do preço futuro está apresentada na figura 27. A simulação do preço futuro foi obtida a partir da equação 28, e foi projetado até o ano de 2016.

<i>Parâmetros</i>	<i>Dados</i>	<i>Equação (fonte)</i>
a	3	22
b	0,5	22
$\eta$ = velocidade de reversão à média	94,961	23
$\sigma$ = volatilidade	15,913	24
Preço médio de longo prazo (Pmédio)	127	25
N é o número de meses equivalente ao período	137	curva histórica
r = taxa de risco livre	13	curva histórica
$\mu$ = taxa de flutuação	0,125	curva histórica

Tabela 2: quadro resumo de dados para simulação do preço futuro de minério de ferro.

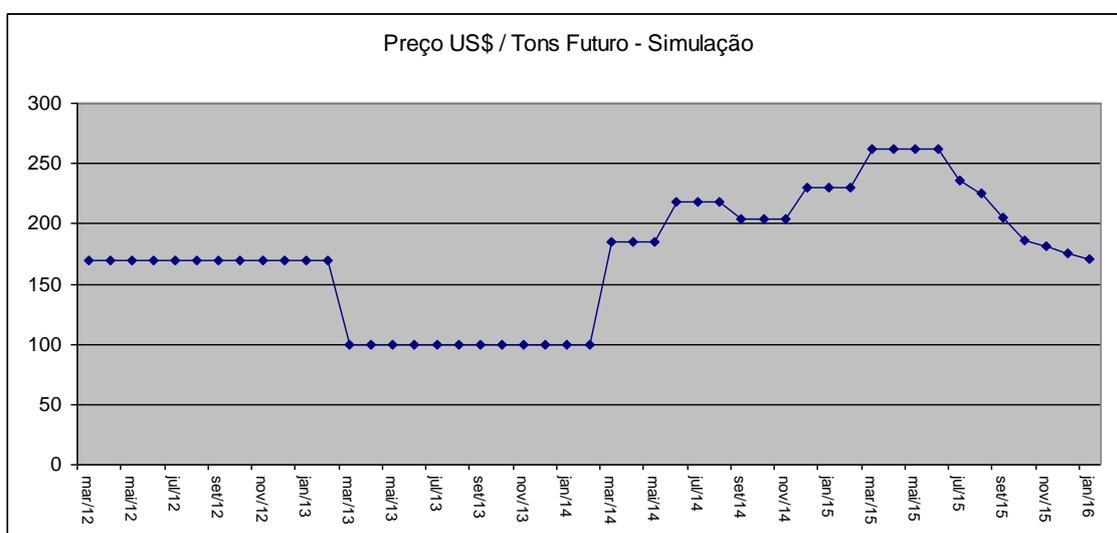


Figura 27 – Simulação de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia.

O preço médio de longo prazo obtido a partir da equação 25 aponta para 127 dólares por tonelada. Há indicação de manutenção do valor de 150 dólares até meados de 2013 quando o preço deverá cair para o patamar de 100 dólares permanecendo assim até final de 2014 embora com pouca flutuação. A partir deste momento há perspectiva de elevação com forte flutuação novamente até o valor de 260 dólares que deverá ser o novo valor recorde jamais atingido, e em seguida percebe-se o movimento de reversão ao valor médio ao longo de 2015 com velocidade moderada.

#### 4.4.

#### Análise de Sensibilidade

Para avaliar o risco dos projetos de mineração que envolve os investimentos logísticos em infra-estrutura e os custos operacionais para viabilizá-lo é fundamental avaliar até qual patamar de variabilidade do preço da tonelada de minério de ferro um projeto pode suportar. A figura 28 ilustra a análise de sensibilidade para diferentes desvios da volatilidade atribuídos ao preço do minério de ferro em relação á volatilidade já esperada no comportamento normal do preço, isto é, observada na base histórica real.

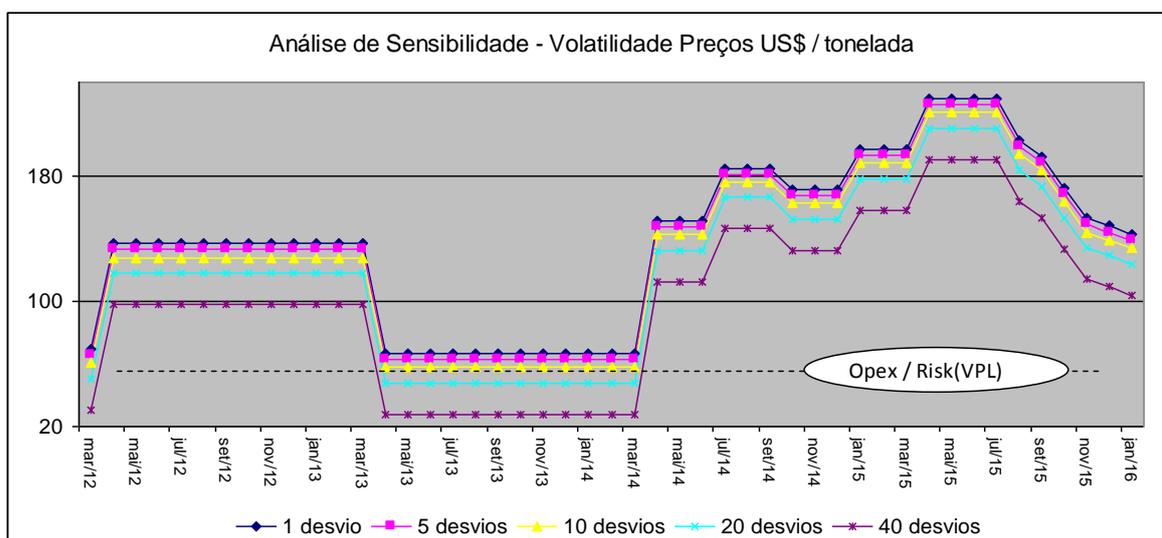


Figura 28 – Volatilidade de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia. Fonte própria.

Para desvios de volatilidade até dez unidades em relação á simulação de preço futuro verifica-se um descolamento de até 20 dólares. No período de doze meses entre março de 2013 e março de 2014 o preço atinge o limite inferior de 58 dólares se aproximando de uma zona de risco para um projeto devido á uma possível proximidade com os custos necessários, dependendo é claro do escopo de produção e infra-estrutura requerida.

Já para desvios acima de dez unidades, o preço do minério de ferro pode atingir 30 dólares e ultrapassar a faixa limite de viabilização de projetos, ficando abaixo dos

custos atuais da cadeia logística necessária para o escoamento e pode comprometê-lo se permanecer neste patamar por longos períodos. Tal fato pode ser motivado por algum fator macro-econômico ou revisão estratégica de importação ou descoberta de alguma nova fonte de minério de alto teor próxima do mercado demandante.

Para a análise não ficar limitada somente a avaliar a volatilidade dos preços, deve-se analisar a variável responsável pela velocidade de reversão a média, que irá fornecer a visão de quanto tempo um projeto pode suportar uma operação com preço mantido abaixo ou no limite de seus custos. A figura 29 ilustra duas diferentes curvas quando a velocidade de reversão á media é reduzida e aumentada. O impacto da manutenção de preços em determinado patamar é amenizado quando a velocidade de reversão á media é aumentada, reduzindo os degraus. Esse comportamento é favorável a todos os projetos pois ele reduz o impacto de um possível cenário de manutenção de preços próximos a zona de risco do projeto, reduzindo a quantidade de valores próximos ao nível de custos que a variável pode assumir.

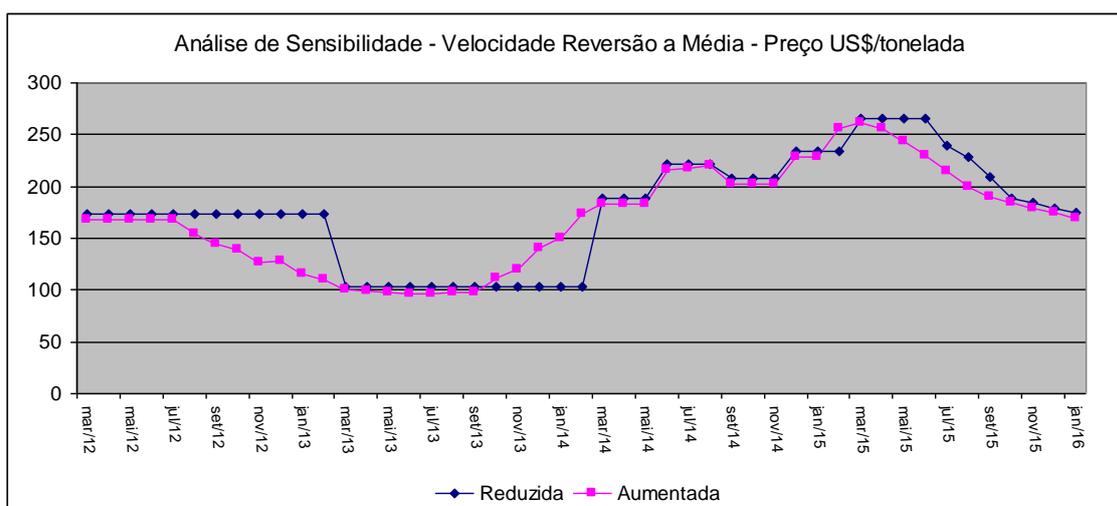


Figura 29 – Velocidade de reversão á média de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia. Fonte própria.

Tanto a volatilidade quanto a velocidade de reversão á média são variáveis mercadológicas exógenas difíceis de controlar, no entanto, a simulação de cenários com ambas pode apoiar a alta gestão de um projeto a corrigir rumos ou se preparar melhor para períodos de turbulência do mercado com alta variabilidade.

## 4.5.

### Impacto e Viabilidade de Projetos

Para correlacionar a variabilidade dos preços com os custos envolvidos em um projeto, e para tornar o modelo mais objetivo será feita uma simplificação do conceito de *VPL* a partir da equação 17, onde o *VPL* do projeto será o valor resultante entre o investimento necessário para viabilizar o projeto (*capex*) e o somatório dos fluxos de caixa (*CF<sub>t</sub>*) obtidos a partir da diferença entre a receita e os custos operacionais (*opex*).

$$VPL = -Capex + \sum_{i=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^i} \quad (29)$$

A figura 30 ilustra o investimento (*capex*) necessário para viabilizar o escoamento de minério de ferro em uma cadeia logística utilizando o modal ferroviário como solução para ligar os terminais de carga ao terminal de descarga no porto. Para este estudo foi desconsiderado o investimento necessário para a produção do minério de ferro, considerando a unidade de produção já existente e implantada pelo desenvolvedor do projeto.

Escopo do Projeto					
Produto	Minério de Ferro (exportação)				
Volume (anual)	30 milhões de toneladas				
Prazo	10 anos				
Distância de Transporte	500 Km				
<hr/>					
<b>CAPEX</b>					
Valores em US\$ (milhões) - dólares					
Terminal de Carga		Terminal de Descarga		Ferrovia	
Silo de carga	10	Virador de vagões	30	Linha ferroviária (ligação carga/descarga)	
Correia transportadora	1	Correias	3	Super-estrutura	300
Equipamentos	5	Equipamentos Movimentação	20	Infra-estrutura	400
Automação	1	Automação	5	Sinalização	50
Outros/Licenças	1	Infra portuária	20	Material Rodante (Loc/vagões)	150
Pêra Ferroviária	5	Equipamentos Carga Navio	40	<b>Sub-total Ferrovia</b>	<b>900</b>
		Outros/Licenças	2		
		Pêra Ferroviária	5		
<b>Sub-total Carga</b>	<b>23</b>	<b>Sub-total Descarga</b>	<b>125</b>	<b>Total Geral</b>	<b>1.048</b>

Figura 30 – Capex projeto exportação minério de ferro destino Europa e Ásia.

Os custos operacionais da cadeia logística de escoamento do minério de ferro é composto pelo somatório dos custos de produção, de movimentação do terminal de

carga, do frete ferroviário e das operações portuárias, incluindo movimentação e em alguns casos os custos de concessão. O custo de frete poderá sofrer alterações maiores em casos de investimentos relevantes para aumento de capacidade em caso de saltos de demanda, mas considerando que a maioria dos projetos apresenta comportamento praticamente linear deve-se considerar apenas os reajustes de custos macro-econômicos a título de manutenção do equilíbrio econômico-financeiro das partes envolvidas na contratação.

**Valores (USD / TON) – Cadeia de Valor Brasil – Europa / China (MINÉRIO BH)**

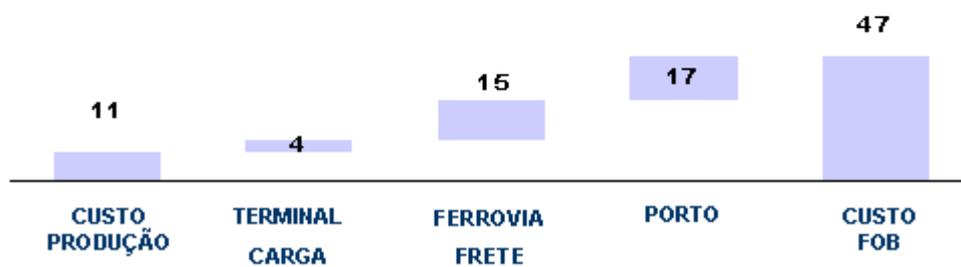


Figura 31 – Opex projeto exportação minério de ferro destino Europa e Ásia. Fonte: SBB Steel

Na figura 31 pode-se observar o custo da cadeia de valor totalizando 47 dólares por tonelada como um referencial para o comportamento do preço transoceânico de minério de ferro. A partir do fluxo de caixa que confronte os custos *capex* e *opex* de um projeto com a receita esperada, inclusive em momentos de eventual crise ou simulação de flutuação inesperada pode-se prever alguns riscos do projeto e prováveis impactos no resultado esperado.

Através da simulação de cenários favoráveis e desfavoráveis é possível identificar por quanto tempo um projeto conseguiria suportar períodos com flutuações que comprometam o resultado esperado das partes interessadas. Para o estudo de viabilidade foram escolhidos aleatoriamente quatro cenários de curto, médio e longo prazo em relação ao prazo do projeto.

Na tabela 3 pode ser observado que um projeto poderia suportar um ano de crise com preços praticados no mercado no nível de 40 dólares por tonelada se os nove demais anos de projeto permanecerem com preços no patamar médio de 127 dólares. O

*VPL* ainda poderia reduzir aproximadamente a metade se durante quatro anos da série o preço se comporte abaixo dos custos operacionais, considerando que nos demais anos se pratique o preço médio.

Por outro lado, em um cenário extremamente pessimista, caso apenas um ano previsto no projeto o mercado pratique o preço médio e todos os demais anos do projeto o preço fique abaixo da zona de custos, o *VPL* do projeto se torna então negativo, o inviabilizando.

Análise de Impacto / Viabilidade	Período									
USD - milhões	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Cenário 1</b>	FCL1	FCL2	FCL3	FCL4	FCL5	FCL6	FCL7	FCL8	FCL9	FCL10
<b>Free Cash Flow (otimista)</b>	1.352	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400
<b>VPL 1</b>	22.952									
<b>Cenário 2</b>	FCL1	FCL2	FCL3	FCL4	FCL5	FCL6	FCL7	FCL8	FCL9	FCL10
<b>Free Cash Flow (1 ano crise - referencial histórico)</b>	1.352	2.400	2.400	-210	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400
<b>VPL 2</b>	20.342									
<b>Cenário 3</b>	FCL1	FCL2	FCL3	FCL4	FCL5	FCL6	FCL7	FCL8	FCL9	FCL10
<b>Free Cash Flow (4 anos flutuações desfavoráveis)</b>	1.352	2.400	2.400	-210	-210	-210	-210	2.400	2.400	2.400
<b>VPL 3</b>	12.512									
<b>Cenário 4</b>	FCL1	FCL2	FCL3	FCL4	FCL5	FCL6	FCL7	FCL8	FCL9	FCL10
<b>Free Cash Flow (9 anos flutuações desfavoráveis)</b>	1.352	-210	-210	-210	-210	-210	-210	-210	-210	-210
<b>VPL 4</b>	-538									
<b>Dados:</b>										
Preço venda USD/tonelada (base receita)	127									
Volume Anual (tons - milhões)	30									
Opex e Capex (USD/ton) - figura 31	47									

Tabela 3 – VPL projeto exportação minério de ferro destino Europa e Ásia.

Além disso, é importante também considerar o fator escala nos projetos de mineração dado que os valores de investimento são relativamente elevados. Volumes entre 1 e 4 milhões de toneladas dificilmente tornarão um projeto viável no prazo de dez anos. Para obter *VPL* positivo com este patamar de escala seria preciso um prazo mínimo de 30 anos.