

4

O modelo proposto: avaliação por opções reais do *smelter* Valesul

Neste capítulo será proposto o modelo para avaliação utilizando a metodologia por opções reais aplicada ao *smelter* de alumínio com base no caso da Valesul, empresa brasileira da indústria de alumínio.

Inicialmente serão apresentados alguns importantes alicerces para o desenvolvimento do modelo proposto, descrevendo a contextualização teórica utilizada na modelagem, a qual teve como base o processo estocástico auto-regressivo, ou Movimento de Reversão à Média.

Em seguida serão analisados os comportamentos das variáveis estocásticas descritas no modelo, ou seja, o preço do alumínio e da energia elétrica. Para isso, serão estimadas suas respectivas volatilidades e serão definidos os parâmetros para o Movimento de Reversão à Média que serão utilizados no modelo proposto.

Por fim, será apresentado o modelo proposto aplicado ao caso prático desenvolvido a partir da aplicação dos conceitos da teoria de opções reais descritos neste trabalho e na análise de flexibilidades operacionais existentes na indústria de alumínio, ou mais especificamente neste caso, na Valesul.

4.1.

O modelo teórico

4.1.1.

Modelagem com movimento de reversão à média

Foi possível observar na revisão de literatura uma inclinação de consagrados autores (op. cit) em se utilizar o processo de Movimento de Reversão à Média (MRM) para descrever o comportamento de preços de commodities. Apesar de o Movimento Geométrico Browniano (MGB) estar frequentemente presente em modelagens de avaliações por opções reais, sua utilização pode estar mais associada à facilidade de uso do que a própria adequação do modelo estocástico, segundo descrito por Bastian-Pinto e Brandão (2007). Os autores destacam ainda

que o MGB pode resultar em valores superestimados caso este processo não seja realista para a modelagem em questão.

Nos movimentos de reversão à média há uma tendência de a variável reverter para um nível de equilíbrio representado por sua média de longo prazo. Essa lógica do MRM tem base na microeconomia, cuja dinâmica indica que quando os preços de determinados produtos estão situados abaixo de sua média de longo-prazo, sua demanda tende a aumentar, enquanto sua oferta passa a diminuir em função da menor atratividade de investimentos e aumentos de produção, com consequente queda na disponibilidade do produto e tendência de alta nos preços. Essa lógica se aplicaria de forma similar para o caso inverso, ou seja, caso os preços estivessem acima da média, ocasionando uma tendência de redução nos níveis de preço.

A abordagem da modelagem através do MRM foi destacada por Slade (2001) ao analisar minas de cobre no Canadá, onde ressaltou ainda a possibilidade de resultados sobreestimados para o uso do MGB. Schwartz (1997) enfatiza também o uso do MRM em modelagens ao estudar o comportamento estocástico do preço de commodities, e Bessembinder et al (1995) apresentam evidências empíricas significativas para utilização do MRM em preços de commodities.

Bastian-Pinto, Brandão e Hahn (2009), corroboram o uso de MRM para modelar seu estudo sobre o valor adicionado pela flexibilidade existente na produção do etanol, considerado que a utilização deste processo estocástico seria mais realista para o caso de preços de commodities. O estudo utiliza MRM para modelar os preços de etanol e do açúcar, e demonstra que esse método trouxe resultados mais sólidos quando comparados com o MGB que apontou para resultados com valores maiores.

O estudo realizado por Avilés (2009), que analisa através do método de opções reais os *smelters* auto-suficientes em geração de energia elétrica, também comenta a respeito da escolha do processo estocástico. O trabalho contempla as volatilidades existentes nos preços da energia elétrica e do alumínio, com modelagem baseada no Movimento Geométrico Browniano. O autor inclui a questão dentre as possíveis limitações do estudo reconhecendo a possibilidade de imprecisão atrelada ao uso do MGB para descrever comportamentos de preços de commodities, e indica a abordagem por MRM como sugestão para trabalhos futuros, por poder proporcionar mais realismo neste tipo de modelagem.

Dias e Rocha (1999) analisaram o comportamento de preços de petróleo e observaram que os preços tendem a apresentar saltos discretos em função de eventos ou informações atípicas. Os autores sugerem em seu artigo, uma modelagem estocástica baseada em uma extensão do MRM, pois associa a este processo uma componente randômica de saltos discretos. A incerteza é, portanto, modelada como um processo de difusão misto contemplando MRM e saltos.

4.1.2. Modelos de reversão à média

Existem diversos processos estocásticos auto-regressivos, também denominados Movimentos de Reversão à Média, que podem variar em grau e complexidade. Alguns modelos consideram apenas um fator, ou seja, somente uma incerteza estocástica, mas existem também modelos mais complexos que consideram mais do que um fator.

Neste trabalho, iremos focar na utilização de modelos de fator único conhecido por processo de Ornstein-Uhlenbeck, também denominado MRM aritmético. Este processo é descrito pela equação 7.

$$dx = \eta(\bar{x} - x)dt + \sigma dz \quad (1)$$

Onde:

x é a variável estocástica,

$\bar{x}$ é a média de longo prazo da variável estocástica

η é a velocidade de reversão

σ é a volatilidade do processo

dz é o processo dadrão de *Weiner*, com distribuição normal $dz = \varepsilon\sqrt{dt}$, e

$\varepsilon \sim N(0,1)$, e dt o incremento de tempo no processo.

O processo de Ornstein-Uhlenbeck (equação 7) tem o valor esperado e a variância conhecidos e dados por Dixit e Pindyck, descritos respectivamente por:

$$E(x_1) = \bar{x} + (x_0 - \bar{x}) * e^{-\eta(t-t_0)} \quad (2)$$

$$\text{var}(x_1) = \frac{\sigma^2}{2\eta} (1 - e^{-2\eta(t-t_0)}) \quad (3)$$

Para simulação do processo em questão, é necessária a equação em tempo discreto que é obtida com a soma da parcela determinística da média (8) e estocástica (9) multiplicada pela distribuição normal com média zero (Bastian-Pinto, (2009).

$$x_t = x_{t-1} e^{-\eta \Delta t} + \bar{x}(1 - e^{-\eta \Delta t}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta \Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \quad (4)$$

Os parâmetros deste processo são obtidos a partir de uma regressão linear (Bastian-Pinto, 2009, p. 33-35) e são obtidos através das equações:

$$\eta = -\ln(b) / \Delta t \quad (5)$$

$$\bar{x} = -\frac{a}{(b-1)} \quad (6)$$

$$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \ln b}{(b^2 - 1)\Delta t}} \quad (7)$$

Onde σ_ε é o erro padrão da regressão.

Adicionalmente, utilizaremos para modelagem dos preços de energia elétrica uma componente complementar para refletir o comportamento de saltos observado e descrito anteriormente, o qual foi analisado por Dias e Rocha (1999), conforme relatamos em 4.1.1.

O processo de difusão misto com MRM e saltos associa variações mais amenas descritas pelo MRM com saltos, ou choques de preços, gerados por eventos atípicos, que são descritos por um processo de Poisson.

O modelo contemplando este processo estocástico de difusão misto seguiria a equação 14.

$$dx = \eta(\bar{x} - x)dt + \sigma dz + dq \quad (8)$$

Onde a componente dq representa o processo de Poisson não correlacionado ao processo de *Wiener* dz e segue as seguintes premissas:

$dq = 0$; com probabilidade de $1 - \lambda dt$

$dq = \phi$; com probabilidade de λdt

Onde λ é a frequência de ocorrências dos saltos e ϕ representa a distribuição de probabilidade do tamanho do salto.

4.2.

Análise das incertezas e definição de parâmetros

Uma vez definida a abordagem a ser utilizada para analisar as variáveis estocásticas identificadas para o modelo, é necessário que sejam definidos os parâmetros através da análise de suas séries de dados. Portanto, serão estudadas as principais incertezas do *smelter*, preço do alumínio e energia elétrica, segundo a ótica do processo estocástico auto-regressivo aritmético de fator único.

4.2.1.

Análise do preço do alumínio

Para realizar a análise do comportamento dos preços do alumínio e definir seus parâmetros necessários ao modelo, utilizamos como base as cotações de preços em US\$ por tonelada publicados na London Metal Exchange (LME) entre os anos de 1990 e 2009. Em seguida, essa série foi deflacionada com base nas referências de índice de preços ao consumidor (CPI – Consumer Price Index, fonte: Bloomberg) para o mesmo período de forma a refletir a base real de preços. Finalmente, calculou-se a média de preços da série mensal e seus respectivos parâmetros de regressão, para posteriormente estimar suas referências anualizadas, considerando-se que o modelo possui periodicidade anual.

A figura 12 ilustra o comportamento dos preços do alumínio representados pelas médias anuais deflacionadas.

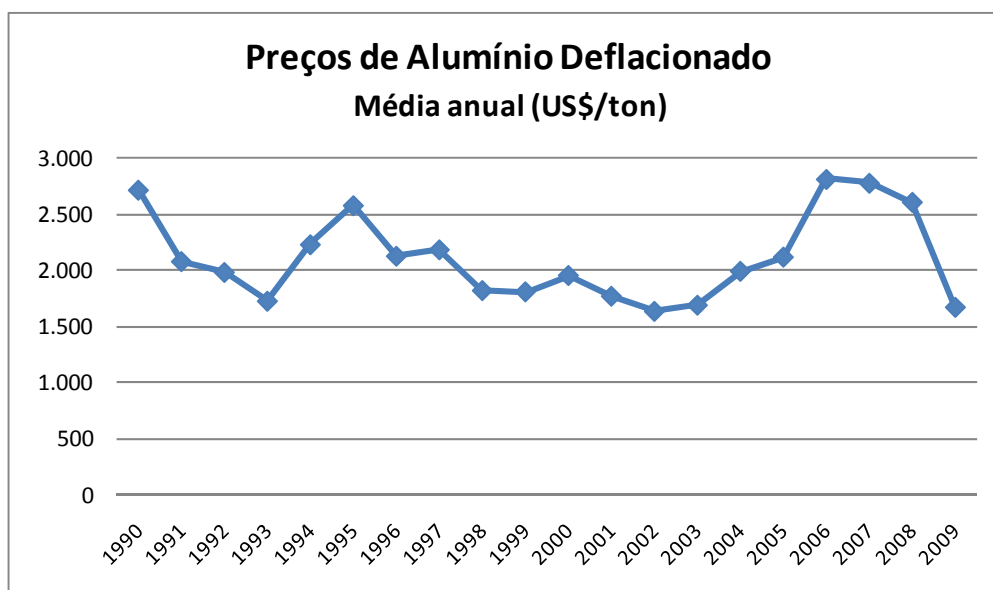


Figura 12: Preços de Alumínio Deflacionado - Média anual

A partir da série de preços do alumínio foram utilizadas para cálculo dos parâmetros necessários ao modelo, as fórmulas 11, 12 e 13, segundo o processo Ornstein-Uhlenbeck, conforme descrito para o modelo teórico, item 4.1 deste capítulo. Os resultados dos parâmetros obtidos para a série de preços do alumínio estão indicados na tabela 7.

Parâmetros - Preço alumínio base anual	
Média	2.068
Desvio Padrão	14,15%
Velocidade de Reversão	0,4866

Tabela 7: Parâmetros do MRM dos preços de alumínio

4.2.2.

Análise do preço da energia elétrica

A análise do comportamento do preço da energia elétrica foi calcada no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). O PLD é utilizado para valorar a compra e a venda de energia no Mercado de curto prazo e utiliza como base os dados considerados pelo ONS para a otimização da operação do Sistema Interligado Nacional visando o equilíbrio entre os benefícios do uso futuro e armazenamento de água, e considerando economias esperadas dos combustíveis das usinas termelétricas.

Para o cálculo do PLD são utilizados modelos computacionais que estimam o Custo Marginal de Operação para cada submercado com base nas condições hidrológicas, oferta e demanda de energia, preços de combustível, custo de déficit, entrada de novos projetos e infra-estrutura de geração e transmissão etc.

Uma das ferramentas computacionais utilizadas para cálculo do PLD é o sistema NEWAVE, o qual foi utilizado para a análise do preço da energia elétrica neste trabalho. Este programa incorpora as variáveis mencionadas no parágrafo anterior e considera um horizonte de médio-prazo de até cinco anos para o planejamento de geração hidráulica e térmica que minimiza o valor esperado do custo de operação para o período.

Para efeito de análise deste trabalho, foram geradas, através da utilização do NEWAVE, duas mil séries de preços (PLD) mensais, projetados para um período de quatro anos.

De forma semelhante ao observado na figura 10, onde foi apresentado o comportamento histórico do PLD, os cenários obtidos através da utilização do NEWAVE apresentaram um comportamento estocástico que sugere a presença de saltos, como pode ser observado na figura 13.

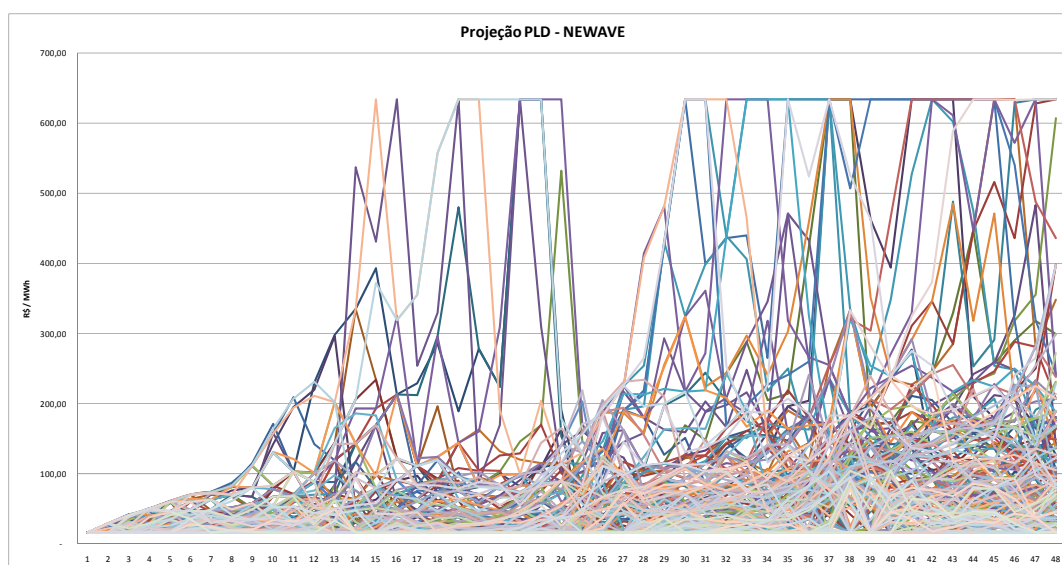


Figura 13: Projeção PLD NEWAVE

Vale comentar que, embora a figura 13 fique de certa forma poluída por representar uma grande quantidade de curvas geradas a partir dos cenários de PLD (nesta figura ilustrada por 250 trajetórias), este gráfico teve o intuito somente de ilustrar genericamente a tendência obtida por estas projeções, o que nos levou a constatar a presença do comportamento com um misto de variações relativamente suaves acompanhadas de uma série de saltos de maior amplitude ocorrendo de maneira menos frequente. E a partir dessa observação, foi adotada a premissa de modelagem para o PLD com base no processo de difusão misto de MRM com saltos (equação 14).

Para determinação dos parâmetros desta modelagem foi necessário adotar algumas premissas e simplificações. Para definição da frequência dos saltos foi estabelecido um patamar onde preços superiores a este seriam considerados saltos. Em seguida, foram contadas as quantidades de saltos dentre as duas mil séries, para se determinar a frequência de ocorrência destes saltos. A premissa utilizada para definir a presença de saltos foi um preço superior a R\$250/MWh, o que foi estimado considerando-se o comportamento das curvas geradas pelos cenários de PLD. A análise baseada neste patamar gerou uma frequência resultante de saltos de 2,63%.

No entanto, diferentemente do padrão descrito por Dias e Rocha (1999) para preços de petróleo onde a direção do salto tem comportamento randômico, observa-se que a média de longo prazo dos preços de energia elétrica tende a estar mais próxima ao limite inferior do PLD e que os saltos acontecem apenas para cima. Além disso, ao invés de utilizarmos os tamanhos dos saltos baseados na aleatoriedade, adotamos para este estudo um valor de salto único e fixado em R\$300 por megawatt-hora. Esta referência foi utilizada tendo em vista que este seria um ponto médio entre os limites máximo e mínimo do PLD, e que este valor seria utilizado pelo período de um ano na simulação. Vale salientar que Dias (www.puc-rio.br/marco.ind/rev-jump.html) destaca que uma das dificuldades deste processo é a complexidade em se estimar uma distribuição para o tamanho de salto, e sugere algumas possíveis abordagens, que excederiam os objetivos deste estudo.

A tabela 8 resume as premissas utilizadas na modelagem do PLD com base no MRM com saltos.

Premissas - MRM com saltos	
Patamar para definir presença de saltos (R\$/MWh)	250,00
Frequência de saltos	2,63%
Tamanho do salto (R\$/MWh)	300,00

Tabela 8: Premissas – MRM com saltos

Adicionalmente, foram retiradas as séries contendo saltos para que a projeção resultante representasse somente o processo de MRM, de onde seriam estimados os parâmetros, com base nas equações 11, 12 e 13, segundo o processo Ornstein-Uhlenbeck descrito no modelo teórico. Para realização da análise sem os saltos, foram excluídas das duas mil séries de preços, todas que apresentassem saltos, ou seja, presença de preços superiores ao patamar de R\$250. A partir daí, foram gerados os parâmetros da tabela 9.

Parâmetros - Preço energia elétrica base anual	
Média	79,51
Desvio Padrão	72,1%
Velocidade de Reversão	3,32

Tabela 9: Parâmetros do MRM dos preços da energia elétrica

4.3.

O modelo proposto - aplicação ao *smelter* de alumínio: caso valesul

4.3.1.

Descrição do caso

Conforme mencionado anteriormente, será utilizada como referência a empresa Valesul, caso que possui aspectos semelhantes aos *smelters* em operação ao redor do mundo, podendo representar uma prática replicável na indústria de alumínio. Além disso, outro fato de possível interesse também mencionado, é que a Valesul teve seus ativos recentemente vendidos por valores supostamente inferiores ao seu potencial, e a avaliação por opções reais pode representar uma alternativa complementar para indicar adição de valor ao estimar ganhos provenientes da flexibilidade gerencial na presença de volatilidade.

No caso do *smelter* de alumínio, esta flexibilidade operacional poderá ser encontrada entre as fases de redução eletrolítica e fundição do metal. Conforme também mencionado anteriormente neste trabalho, na etapa de redução a alumina é transformada em alumínio metálico, que posteriormente é utilizado como insumo na fundição. Como os custos das unidades de redução são fortemente influenciados pelo preço da energia elétrica, um de seus principais insumos, passa a existir uma vulnerabilidade da eficiência desta etapa da cadeia produtiva em função da oferta de eletricidade e da volatilidade de seus preços.

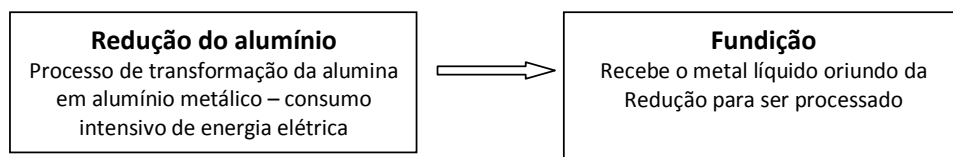
Uma alternativa possível para superar essa dificuldade é a de suspender as atividades da unidade de redução eletrolítica e passar a utilizar na fundição o alumínio em lingotes comprado no mercado. Conforme descrito na revisão de literatura, pode ser observado na indústria de alumínio que em lugares onde o custo da energia elétrica é relativamente alto, as plantas produtoras de alumínio têm optado pelo fechamento de unidades de redução, passando a comprar do mercado, enquanto que locais com maior oferta e menores custos de eletricidade passam a concentrar a etapa de redução.

Considerando-se, no entanto, que o preço da energia elétrica no Brasil apresenta uma importante volatilidade e que a ineficiência da unidade de redução ocasionada pela alta nestes preços pode ser um evento temporário, é improvável considerar o fechamento definitivo destas unidades, resultado de grandes investimentos caracterizados pela irreversibilidade. Com isso, e tendo em vista que as incertezas relacionadas ao comportamento dos preços de eletricidade e alumínio podem tornar a operação novamente competitiva, é possível vislumbrar oportunidades de ganhos econômicos através da existência de flexibilidade na estrutura da cadeia produtiva.

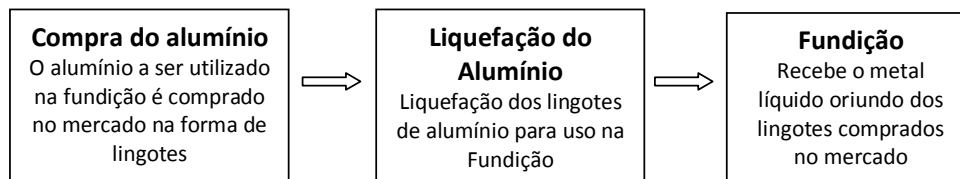
Essa flexibilidade operacional poderá potencialmente ser alcançada com a possibilidade de alternância na origem do alumínio que é introduzido na fundição. Dependendo do preço do metal no mercado e considerando também o custo para obtê-lo através da redução levando-se em conta o preço da energia elétrica, o gestor poderá escolher pela alternativa de menor custo, podendo trazer ganhos à operação. Ou seja, a flexibilidade operacional do modelo produtivo caracterizada pela troca da origem do insumo básico da fundição (alumínio oriundo da redução ou compra do lingote no mercado) proporcionará uma opção de alternância contemplando elementos suficientes (incerteza, flexibilidade gerencial e irreversibilidade) para ser tratada como um problema de opções reais.

A esquematização descrita na figura 14 apresenta visualmente a opção contida no *smelter* de alumínio.

Modelo Operacional 1: utilização integrada das unidades de Redução e Fundição do *smelter*



Modelo Operacional 2: compra de alumínio diretamente no mercado para suprir a Fundição



Modelo com flexibilidade operacional: incorporação da opção de alternância

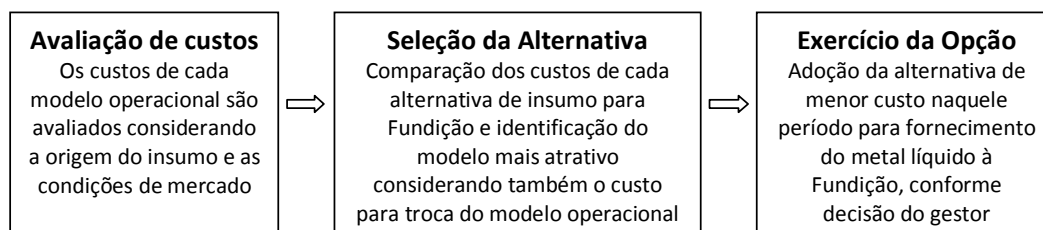


Figura 14: Flexibilidade operacional do *smelter* – opção de alternância

De acordo com TRIGEORGIS (1999), a opção de escolher entre duas alternativas torna o valor do sistema flexível maior do que o valor de um sistema onde não há possibilidade de troca. O valor da flexibilidade de trocar o modelo operacional apresentada na figura 14 poderá ocorrer quando houver fluxo de custos menor em uma das alternativas.

Caso o *smelter* esteja operando no modelo operacional 1 em determinado momento e os custos de operação projetados para o modelo 2 forem maiores em comparação às projeções do modelo 1, a decisão será de manter a operação neste último. Caso contrário, se o fluxo de caixa resultante dos custos operacionais do modelo operacional 2 for menor, e compensem também o custo de troca que é contemplado na equação, então a opção será exercida e haverá a troca de modelo operacional. Esta lógica se aplica de maneira similar para o caso inverso, ou seja, quando inicialmente o *smelter* estivesse operando no modelo 2.

É relevante destacar que no caso analisado neste trabalho, o *smelter* possuirá custos de troca para alternar entre os modelos operacionais, os quais descreveremos na sequência deste capítulo.

Em seguida serão incorporadas no modelo suas principais premissas e incertezas de forma a avaliar o potencial de adição de valor no *smelter* em função da opção existente a partir desta flexibilidade operacional.

4.3.2. Premissas do modelo

Uma vez identificados os elementos necessários para avaliação através do método de opções reais a serem aplicados no modelo, se faz necessário definir as premissas para seu desenvolvimento.

É importante destacar que não há neste trabalho a ambição de refletir com extrema precisão todos os aspectos inerentes a uma planta industrial de alumínio. A realidade das operações e de projetos presentes no setor envolve uma grande diversidade de questões cuja complexidade excederia aos objetivos da dissertação. Buscou-se, portanto, representar as características essenciais em um nível de detalhamento suficiente para que o estudo ilustrasse uma aproximação coerente da empresa Valesul. Nesse intuito, foram adotadas premissas simplificadoras, mas alinhadas com referências representativas da empresa. Estas foram estimadas com base em parâmetros do setor e informações de mercado concernente à empresa, disponíveis em fontes públicas reconhecidas.

Descrevemos a seguir as principais considerações relativas às premissas do modelo.

Premissas do modelo operacional 1: etapa de redução

- *Produção* – será considerada uma produção de 95.000 toneladas métricas por ano, equivalente à capacidade nominal do *smelter* de alumínio da empresa, conforme divulgado em sua página da internet.
- *Cubas de redução* – o *smelter* da Valesul conta com 216 cubas de redução eletrolítica, onde ocorre a transformação da alumina em alumínio. A quantidade de cubas em operação é informação fundamental, pois além da relevância dos custos necessários para sua manutenção, o custo de alternância da opção será diretamente impactado por essa quantidade, conforme explicaremos adiante.
- *Consumo de energia elétrica* – conforme relatório a respeito da Valesul publicado pela consultoria Brook Hunt especializada em pesquisas no setor de alumínio, o consumo de energia elétrica é de cerca de 15.5 Megawatt-hora por tonelada de alumínio produzido (referência que está alinhada com a estimativa da ABAL que indica 15 Megawatt-hora por tonelada de alumínio).
- *Custo da alumina* – o preço da alumina consumida na redução é função direta do preço do alumínio cotado no mercado internacional e costuma estar em torno de 13% do preço do alumínio cotado na London Metal Exchange (LME). Utilizaremos a referência apresentada pela consultoria Brook Hunt que é de 13.7%. Quanto à relação de consumo de alumina para produção do alumínio, utilizaremos a referência de 1.919 quilos por tonelada, conforme informação disponível na Associação Brasileira de Alumínio (ABAL).
- *Outros custos de produção* – os demais custos de produção representam mão-de-obra, manutenção e serviços, consumíveis, além outras matérias-primas de menor impacto na operação. Como estes custos não tendem a variar sensivelmente e não representam individualmente uma componente de custo tão significativa em relação às demais, iremos agrupá-los em um único item de custo do modelo, o qual será mantido fixo ao longo do tempo. Utilizaremos um valor estimado em 650 dólares por tonelada de alumínio para representar o somatório destes custos, número que está em linha com as referências obtidas através da Brook Hunt e ABAL.

- *Preço da energia elétrica* – o preço da energia elétrica é uma das variáveis estocásticas contempladas pelo modelo e terá como referência o PLD, conforme analisado em maior detalhe no item 4.2.2.

Premissas do modelo operacional 2: compra de alumínio no mercado

- *Preço do alumínio* – a outra variável estocástica considerada no modelo é o preço do alumínio, que teve sua análise baseada nas cotações da LME e cujo comportamento foi descrito no item 4.2.1.
- *Logística* – considerando o modelo onde o alumínio é comprado no mercado, é necessário estimar o custo de logística para que esse insumo chegue até planta produtora de alumínio. Neste caso utilizamos referências de empresas de transporte e utilizaremos um valor de 100 dólares por tonelada de alumínio.
- *Liquefação do lingote* – para que o alumínio comprado no mercado seja comparado nas mesmas bases do insumo proveniente da redução (metal quente) é preciso que sejam colocados em condições semelhantes. Neste caso, é necessário considerar o custo para liquefazer o metal frio, para o qual estimamos em 40 dólares por tonelada de alumínio.

Premissas da flexibilidade operacional: opção de alternância do modelo

1 para 2

- Desligamento de mão-de-obra - a opção de alternar do modelo operacional 1 para o modelo 2 significa desligar a unidade de redução e passar a comprar o alumínio no mercado. Essa mudança implica na desativação de parte da planta industrial e, conseqüentemente, no desligamento ou realocação de pessoal. É possível que parte dos funcionários envolvidos na etapa de redução possam ser reaproveitados em outras áreas, mas provavelmente a maioria destes seria desligada da empresa. Considerando o esforço e envolvimento necessário por parte das áreas de Recursos Humanos para analisar a situação vislumbrando o redirecionamento para outras áreas, e ainda o próprio custo associado às demissões, será necessário considerar um custo para operacionalizar a troca de modelo operacional. Embora parte desse custo possa ser minimizada a partir de planejamento de contratos temporários ou mesmo

acordos provenientes de negociações junto aos sindicatos e trabalhadores, adotaremos uma abordagem mais tradicional e estimaremos os custos de desligamento com base nos padrões da legislação trabalhista aplicadas ao custo total de mão-de-obra obtida a partir da referência do Brook Hunt. Neste caso, utilizaremos um custo estimado em 2 milhões de dólares para essa troca.

Premissas da flexibilidade operacional: opção de alternância do modelo

2 para 1

- *Contratação e capacitação de mão-de-obra* - essa opção de trocar do modelo operacional 1 para o modelo 2 envolve a reativação da unidade de redução, o que requer um esforço de recontração e possivelmente capacitação de parte da força de trabalho. Assim como no caso inverso (desligamento) seria razoável cogitar possíveis reduções neste custo a partir do planejamento do modelo de alternância associado à realocações, contratos temporários e possíveis acordos com trabalhadores e sindicatos. No entanto, manteremos uma abordagem relativamente conservadora e estimaremos o custo em função do custo total de mão-de-obra. Considerando-se a necessidade de capacitação para metade dos funcionários durante um período de um mês juntamente com um esforço adicional da área de Recursos Humanos, estimamos um custo de aproximadamente 1 milhão de dólares para viabilizar essa troca.
- *Preparação das cubas* – a suspensão das operações de redução tem impacto também nas cubas eletrolíticas. Dependendo do tempo da interrupção, a vida útil das cubas pode ser afetada e eventualmente será necessária a troca do revestimento destas cubas. Nesse caso, existem dois custos possíveis de se ocorrer. O primeiro, que estimamos em 10 mil dólares por cuba, diz respeito à reativação sem troca do revestimento que implicará na perda de aproximadamente 30% da vida útil da cuba. O outro ocorre quando há a troca do revestimento e está estimado em 100 mil dólares por cuba. Tendo em vista os diferentes tempos em operação de cada cuba, consideraremos que 30% das cubas terão o revestimento reaproveitado e que os outros 70% terão seus revestimentos trocados. Em função da dificuldade de estimarmos estas proporções sem conhecimento

da frequência e dos tempos entre as trocas, será realizada uma análise de sensibilidade para avaliarmos seu impacto nos resultados.

Premissas da modelagem

- *Volume produzido / comprado* – será considerado um volume constante de 95 mil toneladas cúbicas ao ano para suprir a demanda da fundição. Ou seja, a unidade de redução quando ativada irá operar no máximo de sua capacidade utilizando as 216 cubas existentes para produzir esta quantidade. Da mesma forma, um volume equivalente de alumínio será comprado em lingotes no mercado quando a unidade de redução não estiver operando.
- *Vida útil da operação* - com relação ao horizonte de tempo a ser considerado, a análise irá contemplar um período de 20 anos, considerando que projetos compatíveis com as atividades da indústria tendem a compreender prazos desta magnitude.
- *Prazo de exercício da opção* – será considerada uma decisão anual para o exercício da opção. Ao final do período de um ano o gestor poderá optar por manter ou trocar o modelo operacional considerando as condições de mercado projetadas naquele momento. Essa premissa leva em consideração que a alternância em períodos mais curtos seria de difícil implementação e improvável de ocorrer na prática. Além disso, é possível realizar contratos de compra de alumínio contemplando o período de um ano, ou mesmo com cláusulas que prevêem sua flexibilização neste período.
- *Tipo de modelagem* – partindo da premissa de exercício da opção descrita acima, onde a definição do modelo operacional a ser utilizado é feita ao final do período de um ano, e considerando que essa decisão ocorre de maneira independente, será possível tratar essa opção de alternância como um conjunto de opções européias, possibilitando a utilização de simulação de Monte Carlo na resolução do problema.

- *Custo de capital (WACC)* – existem metodologias distintas para cálculo do custo de capital da empresa e que podem levar a diferentes estimativas. Considerando que a definição dessa taxa não é o foco principal deste estudo, a despeito de sua notória relevância, não será dedicada uma análise demasiadamente aprofundada para essa estimativa. Na estimativa do WACC foram utilizados os conceitos do CAPM internacional (International Capital Asset Pricing Model), o qual utiliza os conceitos do CAPM de maneira estendida a investimentos internacionais, atribuindo um prêmio de risco conforme o país em questão, neste caso o Brasil. O custo de capital próprio foi obtido somando-se a taxa livre de risco com referência em títulos de dez anos do tesouro dos Estados Unidos (T-Bonds) ao prêmio de risco de mercado ajustado pelo beta da indústria, e somado ainda do risco soberano, ou risco Brasil. Para o custo da dívida tomou-se como referência a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) divulgada pelo Banco Central do Brasil, de 6,25% ao ano. Estes custos foram então ponderados com base no perfil de endividamento da empresa Vale, controladora da Valesul, chegando-se a estimativa de custo médio ponderado de capital de 9,90%.
- *Taxa livre de risco* – mantendo a coerência com a utilização do CAPM internacional, tomou-se como referência para a taxa livre de risco os títulos da dívida do tesouro dos Estados Unidos (T-Bonds) de dez anos, aproximados para 3,5% com base nas recentes publicações do tesouro norte-americano.

A seguir, nas tabelas 10 e 11, estão resumidas as premissas descritas neste capítulo, as quais servirão de input no desenvolvimento do modelo.

Resumo das Premissas

Premissa	Unidade	Valor
Capacidade nominal do smelter	ton / ano	95.000
Quantidade de cubas eletrolíticas	unidades	216
Consumo energia elétrica	MWh / ton de alumínio	15,5
Preço alumina	% do preço do alumínio na LME	13,70%
Consumo da alumina	ton / ton de alumínio	1,919
Outros custos de produção	US\$ / ton	650
Logística de compra do alumínio	US\$ / ton	100
Liquefação lingote	US\$ / ton	40
Desligamento mão-de-obra	US\$	2.000.000
Contratação / capacitação mão-de-obra	US\$	1.000.000
Reativação de cuba sem troca de revestimento	US\$ / cuba	10.000
Reativação de cuba com troca de revestimento	US\$ / cuba	100.000
Cubas reativadas sem troca de revestimento	%	30%
Cubas reativadas com troca de revestimento	%	70%
Quantidade produzida na redução	ton / ano	95.000
Quantidade comprada no mercado	ton / ano	95.000
Vida útil da operação	anos	20
Período de exercício da opção	anos	1
Taxa de desconto	%	9,90%
Taxa livre de risco	%	3,50%

Tabela 10: Resumo das premissas

Variáveis estocásticas

Variável	Unidade	Valor
Preço energia elétrica	US\$ / MWh	Simulação do processo por MRM com saltos
Preço alumínio	US\$ / ton	Simulação do processo por MRM

Tabela 11: Resumo das premissas – variáveis estocásticas

4.3.3. Estrutura do modelo

O modelo foi estruturado considerando as premissas descritas acima de forma a contemplar as duas alternativas de modelo operacional e seus respectivos custos. Além disso, o modelo irá incorporar as incertezas geradas a partir do processo estocástico de reversão à média e considerá-las para análise da flexibilidade operacional. Por fim, o modelo analisa o exercício da opção de alternância levando em consideração os custos de troca e gerando um fluxo de custos resultante que incorpora essa opção.

O fluxo de custos inerente ao modelo operacional 1 contempla a operação de redução eletrolítica do alumínio para fornecimento para a etapa de fundição. Neste caso, os custos considerados são o da alumina, energia elétrica e outros custos de operação. A tabela 12 descreve esse cálculo com base nas premissas definidas anteriormente.

Modelo Operacional 1 - Redução do alumínio

Item de custo	Cálculo do custo
Custo da alumina	Quantidade produzida x Preço projetado do alumínio no período x percentual em relação ao preço x consumo alumina
Custo energia elétrica	Quantidade produzida x Preço projetado da energia elétrica no período x consumo energia elétrica
Outros custos de produção	Quantidade produzida x Outros custos de produção
Custo total - modelo operacional 1	Custo da alumina + Custo energia elétrica + Outros custos de produção

Tabela 12: Modelo operacional 1 - cálculo de custo

O fluxo de custos concernente ao modelo 2 por sua vez, representa a alternativa de comprar o alumínio em lingotes diretamente no mercado. Essa alternativa envolve outros custos para disponibilizar e adaptar o alumínio que será usado na fundição, conforme descrito na tabela 13.

Modelo Operacional 2 - Compra de alumínio no mercado

Item de custo	Cálculo do custo
Custo lingote de alumínio	Quantidade comprada no mercado x Preço projetado do alumínio no período
Custo logística	Quantidade comprada no mercado x Logística de compra do alumínio
Custo de liquefação do metal frio	Quantidade comprada no mercado x Liquefação lingote
Custo total - modelo operacional 2	Custo lingote de alumínio + Custo logística + Custo de liquefação do metal frio

Tabela 13: Modelo operacional 2 - cálculo de custo

Com relação à flexibilidade operacional, esta será viabilizada a partir de algumas adaptações a serem realizadas no *smelter*, de forma a operacionalizar cada um dos modelos, conforme foi descrito acima nas premissas. Essas adaptações representam o custo de troca e estão resumidos na tabela 14.

Custo de Alternância

Item de custo	Cálculo do custo
Custo de troca do modelo 1 para modelo 2	Desligamento de mão-de-obra
Custo de troca do modelo 2 para modelo 1	Contratação / capacitação mão-de-obra + (Reativação de cuba sem troca de revestimento x Cubas reativadas sem troca de revestimento) + (Reativação de cuba com troca de revestimento x Cubas reativadas com troca de revestimento)

Tabela 14: Custo de alternância

Uma vez estabelecidas as metodologias para cálculo dos custos, é relevante descrever o algoritmo utilizado para estruturar o modelo de forma a incorporar estas premissas de custo e a flexibilidade operacional para avaliar a opção de alternância e seu valor potencialmente existente na operação.

O mecanismo criado calcula para cada ano o custo projetado levando em conta as premissas de custo e as variáveis estocásticas, identificando qual é o modelo operacional que minimizaria o custo de operação. Em seguida, caso o modelo operacional alternativo tenha menor custo, o algoritmo avalia se a troca de modelo continua sendo vantajosa, mesmo levando-se em consideração os custos de alternância. Caso o modelo alternativo permaneça mais atrativo a despeito do custo de alternância, o algoritmo efetuará a troca de modelo operacional.

Esse mecanismo está ilustrado em mais detalhe no fluxograma da figura 15.

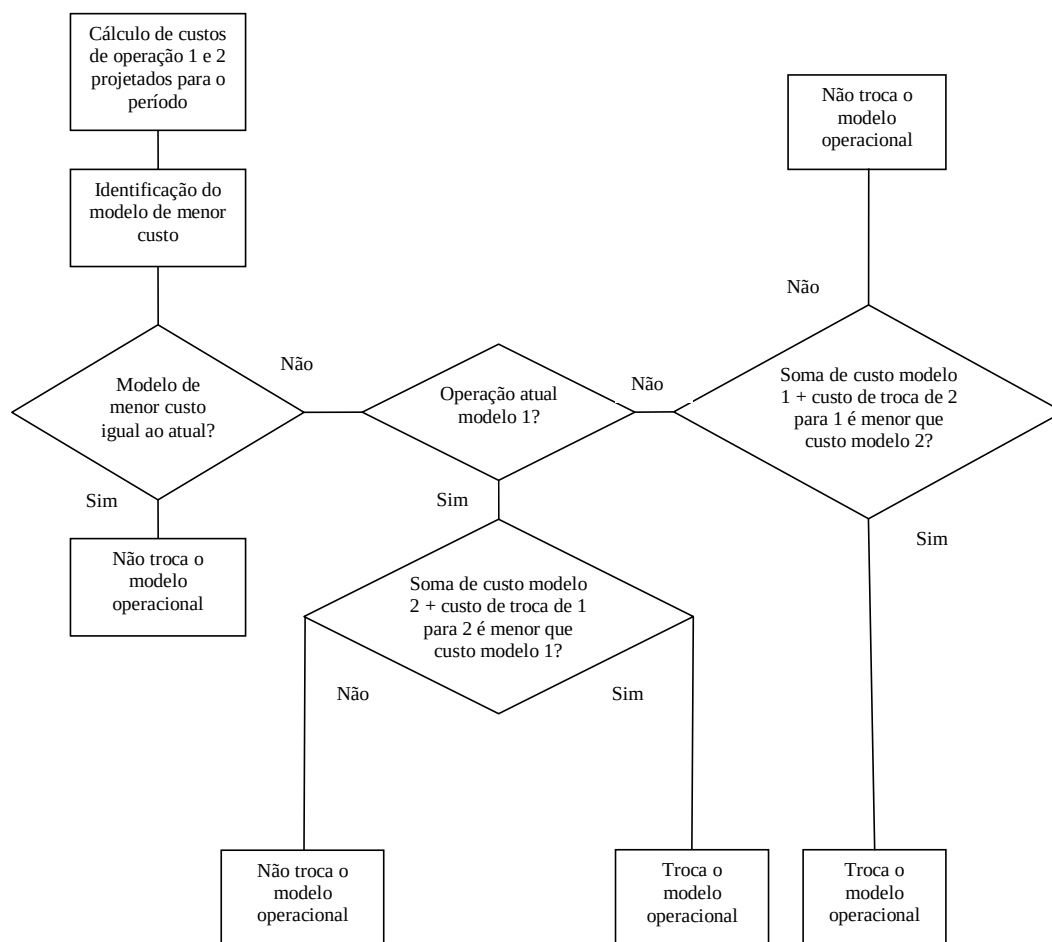


Figura 15: Fluxograma – algoritmo da opção de alternância

O cálculo do custo flexível resultante da opção considerando a análise dos custos mínimos por período e os custos de troca pode ser resumido nas equações 15 e 16.

$$\text{Custo flexível} = \min \left\{ C_{\text{Op}_{t-1}}; \left[\min (C_{\text{Op}1_t}; C_{\text{Op}2_t}) + C_{\text{troca}} \right] \right\} \quad (15)$$

Onde:

$C_{\text{Op}_{t-1}}$ = custo operacional do período anterior

$C_{\text{Op}1_t}$ = custo do modelo operacional 1 projetado no período atual

$C_{\text{Op}2_t}$ = custo do modelo operacional 2 projetado no período atual

C_{troca} = custo de troca de modelo operacional

$$\text{Valor Presente do Fluxo de Custos Flexíveis} = \sum_1^{20} \frac{\text{Custo flexível}}{(1+r)^t} \quad (16)$$

Onde r é a taxa livre de risco.

A partir desta estrutura que incorpora as premissas, calcula os custos de operação e analisa a flexibilidade operacional considerando os custos de alternância, a modelagem é concluída com a realização de simulação de Monte Carlo. Esta simulação foi realizada através da utilização do programa computacional @RISK, que permite executar uma grande quantidade de iterações para geração e análise dos resultados.

A figura 16 busca ilustrar um diagrama esquemático resumido para descrever em linhas gerais a estrutura da modelagem.

Resumo esquemático - modelagem

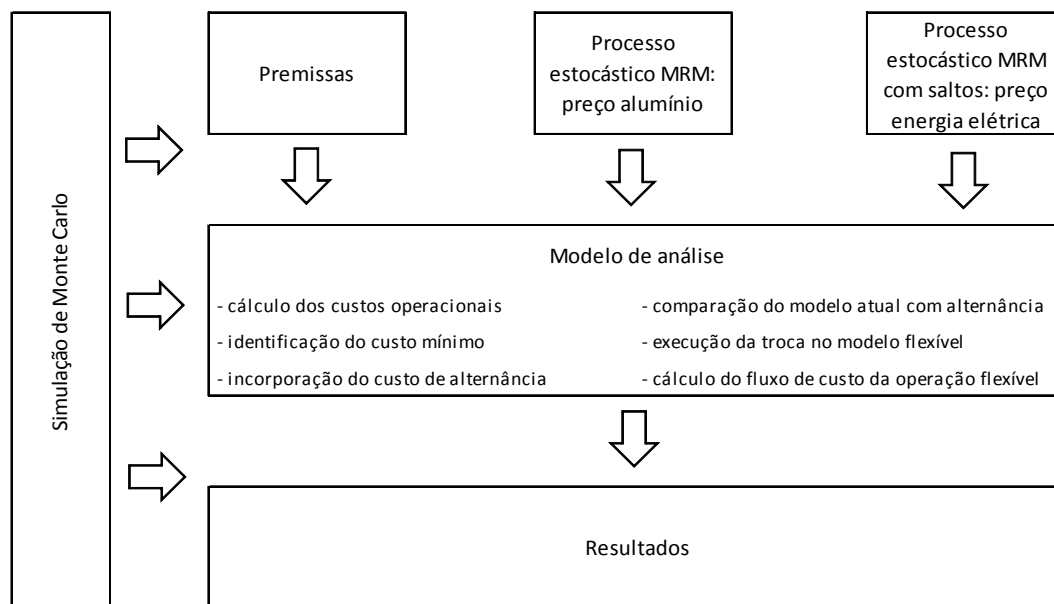


Figura 16: Resumo esquemático modelagem

No próximo capítulo serão apresentados e comentados os resultados obtidos com esta modelagem.