

**ESCOLA POLITÉCNICA  
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE FORMATURA**

**“LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO  
DE CASO EM UMA INDÚSTRIA  
DE ALUMÍNIO”**

**Guilherme Bottura**

**Orientador: Reinaldo Pacheco da Costa**

**2001**

*TF 2001  
B659 l*

**Aos meus pais Ettore e Lourdes**

**e ao meu irmão Raphael**

“Travessia perigosa, mas é a da vida.  
Sertão que se alteia e se abaixa”

GUIMARÃES ROSA (1908-1967)

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador Reinaldo Pacheco da Costa, pelo apoio dado na execução deste trabalho.

Aos meus pais e irmão, pela paciência durante estes cinco anos de Poli e em especial ao meu pai pela ajuda no trabalho.

Aos meus amigos André Tassinari, Filipe Rinaldi, Roberto Nardi, Paulo Borelli, Rodrigo Pagnani, Carlos Canavese, Fernando Furtado, Fábio Chehab, Marcelo Mifano e Luís Resende que tornaram a faculdade um lugar especial do qual sentirei saudades.

Ao pessoal da Alcoa, especialmente Felix Yéboles e Fernanda Mendes, que me ajudaram a crescer como profissional e pessoa.

## **Sumário**

O trabalho mostra a solução de um problema de localização de um *smelter* de alumínio através da aplicação do método dos orçamentos comparados. O *smelter*, planejado pela Alcoa Alumínio, deve ser instalado em algum ponto da América do Sul.

Os primeiros passos consistem num estudo do problema e da indústria do alumínio, seguidos por uma revisão de modelos e métodos consagrados de localização industrial. A partir destas atividades é escolhido o método dos orçamentos comparados, que é aplicado ao caso para se determinar a solução do problema.

O trabalho tem como objetivos, justificar o método utilizado frente às características do problema estudado, descrever sua aplicação e apresentar os resultados obtidos.

## Índice

<b>1. Proposta de Trabalho.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Estrutura do Trabalho.....	6
1.4 A Engenharia de Produção no Contexto.....	7
1.5 O Estágio e o Trabalho de Formatura.....	8
<b>2. A Indústria do Alumínio.....</b>	<b>10</b>
2.1 Processo de Produção do Alumínio.....	11
2.1.1 Mineração.....	11
2.1.2 Refinação.....	13
2.1.2.1 <i>O Processo de Produção da Alumina</i> .....	14
2.1.3 <i>Smelting</i> .....	15
2.1.3.1 <i>A Sala de Cubas</i> .....	16
2.1.3.2 <i>A Célula</i> .....	16
2.1.3.3 <i>O Eletrólito</i> .....	17
2.1.3.4 <i>O Anodo</i> .....	17
2.2 A Empresa.....	19
2.2.1 Panorama Histórico.....	19
2.2.2 Unidades de Negócio e Principais Produtos.....	21
2.2.2.1 <i>Primários e Químicos / Pó</i> .....	21
2.2.2.2 <i>Extrudados</i> .....	22
2.2.2.3 <i>Laminados</i> .....	22
2.2.2.4 <i>Embalagens e Tampas Plásticas</i> .....	22
2.3 Panorama Setorial.....	22
2.3.1 Histórico.....	22
2.3.2 Produção Mundial.....	24
2.3.3 Capacidade Instalada Mundial.....	25
2.3.4 Consumo Mundial.....	23
2.3.5 Energia Elétrica e o Setor.....	24
<b>3. O Modelo Proposto.....</b>	<b>29</b>
3.1 Localização Industrial.....	30
3.1.1 Teoria da Localização.....	30
3.1.2 Método dos Orçamentos Comparados.....	34
3.2 O Modelo Proposto.....	37
3.2.1 A Escolha do Método.....	37
3.2.2 A Adaptação para o Problema do Trabalho.....	38
<b>4. Implementação do Modelo.....</b>	<b>40</b>
4.1 Pré-Seleção de Regiões.....	41

4.1.1 O Fator Energia.....	42
4.1.1.1 <i>Brasil</i> .....	44
4.1.1.2 <i>Argentina</i> .....	45
4.1.1.3 <i>Chile</i> .....	47
4.1.1.4 <i>Uruguai</i> .....	48
4.1.1.5 <i>Paraguai</i> .....	48
4.1.1.6 <i>Bolívia</i> .....	49
4.1.1.7 <i>Peru</i> .....	50
4.1.1.8 <i>Equador</i> .....	51
4.1.1.9 <i>Colômbia</i> .....	51
4.1.1.10 <i>Venezuela</i> .....	52
4.1.1.11 <i>Guianas e Suriname</i> .....	53
4.1.1.12 Avaliação dos Países.....	54
4.1.2 O Fator Transporte.....	61
4.1.3 A Escolha das Localidades.....	62
4.1.3.1 <i>Argentina</i> .....	64
4.1.3.2 <i>Chile</i> .....	65
4.1.3.3 <i>Venezuela</i> .....	66
4.2 Avaliação dos Fatores Tangíveis (Quantitativos).....	67
4.2.1 Energia.....	69
4.2.2 Alumina.....	72
4.2.3 Mão de Obra.....	77
4.2.4 Transporte do Produto Acabado.....	78
4.2.5 Outros Custos.....	79
4.3 Avaliação dos Fatores Intangíveis (Qualitativos).....	80
4.3.1 Risco Político.....	81
4.3.2 Risco Econômico.....	82
4.3.3 Risco Natural.....	84
4.3.4 Atratividade para Funcionários (Expatriação).....	85
4.4 Comparação dos Fatores.....	86
5. Conclusão.....	88
Referências Bibliográficas.....	93

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Produção Mundial de Alumínio Primário.....	26
Tabela 2.2: Consumo Mundial de Alumínio Primário.....	27
Tabela 2.3: Comparação de Consumo por Setor (1998).....	28
Tabela 3.1: Tabela de Comparação de Fatores.....	36
Tabela 4.1: O Setor Elétrico no Brasil.....	45
Tabela 4.2: O Setor Elétrico na Argentina.....	47
Tabela 4.3: O Setor Elétrico no Chile.....	48
Tabela 4.4: O Setor Elétrico no Uruguai.....	48
Tabela 4.5: O Setor Elétrico no Paraguai.....	49
Tabela 4.6: O Setor Elétrico na Bolívia.....	50
Tabela 4.7: O Setor Elétrico no Peru.....	51
Tabela 4.8: O Setor Elétrico no Equador.....	51
Tabela 4.9: O Setor Elétrico na Colômbia.....	52
Tabela 4.10: O Setor Elétrico na Venezuela.....	53
Tabela 4.11: O Setor Elétrico na Guiana.....	53
Tabela 4.12: O Setor Elétrico no Suriname.....	54
Tabela 4.13: O Setor Elétrico na Guiana Francesa.....	54
Tabela 4.14: Comparação do Setor Elétrico nos Países Sul-Americanos.....	57
Tabela 4.15: Comparação do Setor Elétrico nos Países Sul-Americanos (continuação).....	58
Tabela 4.16: Pontuação Final no Questionário.....	59
Tabela 4.17: Lista de Fatores Tangíveis Considerados.....	68
Tabela 4.18: Preço da Energia para a Indústria.....	70
Tabela 4.19: Preço Negociado <i>versus</i> Preso de Mercado.....	70
Tabela 4.20: Preço da Energia Corrigido para os Países Selecionados.....	71
Tabela 4.21: Custo com Energia por Tonelada de Alumínio.....	71
Tabela 4.22: Fornecedores de Alumina para as Diferentes Alternativas Locacionais.....	74
Tabela 4.23: Custos com Alumina.....	75
Tabela 4.24: Custo com Alumina por Tonelada de Alumínio.....	76
Tabela 4.25: Custo Médio da Mão de Obra no Setor Metalúrgico.....	77
Tabela 4.26: Custo com Mão de Obra Corrigido para as Alternativas Locacionais.....	78
Tabela 4.27: Custo com Transporte de Alumínio (US\$/ton).....	79
Tabela 4.28: Avaliação dos Países do Ponto de Vista Político.....	82
Tabela 4.29: Avaliação dos Países do Ponto de Vista Econômico .....	83

Tabela 4.30: Avaliação dos Países do Ponto de Vista do Risco Natural.....	85
Tabela 4.31: Avaliação dos Países do Ponto de Vista da Atratividade para Funcionários.....	85
Tabela 4.32: Comparação dos Fatores.....	86
Tabela 5.1: Colocação dos Países.....	89
Tabela 5.2: Preços do Alumínio na Bolsa de Londres (2000).....	90

## Índice de Gráficos

Gráfico 2.1: Consumo de Energia na Produção de Alumínio Primário. ....	16
Gráfico 4.1: Distribuição Média dos Custos de um <i>Smelter</i> Excluída a Alumina.....	42
Gráfico 4.1: Distribuição de Custos da Unidade de São Luís da Alcoa Alumínio.....	43
Gráfico 4.3: Distribuição da Capacidade Instalada de Geração.....	46
Gráfico 4.4: Distribuição da Geração de Energia Elétrica.....	46
Gráfico 4.5: Geração de Consumo de Eletricidade no Paraguai, 1980 – 1998.....	49
Gráfico 4.6: Distribuição de Custos de um <i>Smelter</i> Médio.....	68

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Área de Estudo do Problema – América do Sul.....	4
Figura 2.1: O Processo de Produção de Alumínio a Partir da Bauxita	12
Figura 2.2: Minas de Bauxita na América do Sul.....	13
Figura 2.3: Localização de Capacidade das Refinarias de Alumina no Mundo.....	14
Figura 2.4: Célula <i>Pre-Bake</i> .....	18
Figura 2.5: Célula <i>Söderberg</i> .....	19
Figura 2.6: Unidades de Negócio da Alcoa no Brasil.....	21
Figura 3.1: Representação do Modelo de Weber.....	32
Figura 3.2: Representação do Modelo de Weber com Transporte Vinculado.....	33
Figura 4.1: Países Pré-Selecionados.....	60
Figura 4.2: Refinarias de Alumina Sul-Americanas.....	62
Figura 4.3: Localização do Porto de Baía Blanca.....	65
Figura 4.4: Localização do Porto de Talcahuano San Vicente.....	66
Figura 4.5: Localização do Puerto Cabello.....	67
Figura 4.6: Possíveis Fontes Fornecedoras de Alumina no Mundo....	73

## **Capítulo 1: Proposta de Trabalho**

---

## 1. Proposta de Trabalho

### 1.1 Introdução

O sucesso de uma empresa no mercado competitivo mundial atual está diretamente relacionado com a sua habilidade de desenvolver vantagem competitiva frente à concorrência. Isto ocorre porque se enfrenta um período em que a enorme competição e as baixas taxas de crescimento tornam o mercado insuficiente para a presença bem sucedida de todos, ou seja, o crescimento de um significa perdas para outros.

Segundo PORTER [1], existem dois tipos básicos de vantagem competitiva para uma empresa: baixo custo e diferenciação. Os pontos fortes e fracos da empresa devem, portanto, ser medidos de acordo com seu impacto nestes dois aspectos, custo relativo e diferenciação, para a empresa.

As empresas do setor de alumínio primário<sup>1</sup> como a Alcoa, objeto deste trabalho, lutam tradicionalmente por vantagens em custo como forma de se destacar da concorrência e melhorar o desempenho. Esta tendência é resultado do alumínio primário ser uma *commodity*<sup>2</sup>.

A característica de *commodity* do alumínio faz com que existam padrões rígidos para a comercialização do produto. Esta padronização garante ao comprador níveis mínimos de qualidade e uma ampla rede de fornecedores capazes de suprir suas necessidades imediatamente.

O alumínio é largamente negociado em bolsas de mercadorias e futuros ao redor do mundo, principalmente em Londres e Chicago, e por esta razão existe um preço definido pelo mercado para o produto (cotação). Este preço também é a base para negociações diretas. Isto ocorre porque as bolsas são acessíveis a todos e, portanto, uma opção para adquirir o metal.

Pode-se destacar então três características do mercado de alumínio primário que levam a busca da vantagem em custo como forma primordial de vantagem competitiva: produtos padronizados (*commodity*), grande rede de

---

<sup>1</sup> Metal puro ou liga normalmente vendidos na forma de lingotes.

<sup>2</sup> Produtos primários cujo preço é determinado pela oferta e procura internacional, normalmente negociados em bolsas de mercadorias e futuros.

empresas capazes de suprir as demandas e preços definidos pelo mercado (empresas são tomadoras de preço).

Existe um grande número de maneiras de se atuar em uma empresa com o objetivo de obter vantagem em custos frente à concorrência. Os alvos podem ser os custos operacionais, abrangendo áreas como logística, marketing & vendas, serviços e operações, dentre outros; ou ainda os ativos de cada uma destas áreas. A abordagem também pode ser variada, desde o simples corte de atividades ou recursos, até a racionalização e redesenho de processos e métodos. O objetivo, no entanto, sempre é posicionar a empresa de maneira que seus custos relativos sejam menores do que os da concorrência.

Dentre todas as formas possíveis de se obter vantagem em custos, este trabalho pretende explorar uma das formas primordiais de se obtê-la: a localização.

A importância da localização em um projeto é indiscutível e sempre deve ser tratada com atenção. Segundo WOILER[2], "a importância de localizar bem a fábrica é óbvia, pois da boa localização dependerá em parte a capacidade competitiva da empresa no tempo".

Em um mundo onde as fronteiras entre países não são barreiras significativas e os mercados atuam de maneira global, pode-se considerar que toda a extensão do planeta Terra está disponível para a implantação de um novo projeto. Obviamente, sabe-se que isto não funciona exatamente desta maneira mas, com certo grau de aproximação pode-se pensar em, virtualmente, quase todo o globo quando se deseja localizar uma planta, armazém ou outro empreendimento.

Para a Alcoa do Brasil existe espaço no mercado de alumínio primário para a expansão. Este movimento, entretanto, não deve considerar apenas o espaço nacional, mas também todos os outros países da América do Sul (Figura 1.1) como potenciais sedes para o novo projeto. Assim, o trabalho buscará determinar a melhor (ou melhores) localização para um *smelter*<sup>3</sup> de alumínio segundo o método de localização industrial julgado mais adequado

---

<sup>3</sup> Planta que transforma alumina ( $Al_2O_3$ ) em alumínio metálico

ao problema, embasado em inventários sobre as características e particularidades pertinentes e relevantes de cada país sul-americano.



Figura 1.1: Área de Estudo do Problema – América do Sul

Fonte: elaborado pelo autor

## 1.2 Objetivos

Este trabalho busca encontrar a melhor localização para um *smelter* na América do Sul. Na prática, determinar o melhor ponto, no sentido de máximo lucro, considerando de maneira contínua toda a extensão territorial do continente é praticamente impossível. Para tanto, seria necessário encontrar um ponto ótimo para o problema que coincidisse em todos os métodos de localização industrial. Mesmo se o problema fosse restringido a um método, para que se determinasse o ótimo seria necessário o teste de todos os pontos do continente e, para isso, seu mapeamento completo.

Desde já devem ser colocadas as limitações práticas tanto na maneira com que se atuará no problema como nos resultados que se pretende alcançar. Tais limitações não podem ser, de forma alguma, usadas como demérito para o trabalho. Elas, na verdade, são a tradução para realidade prática dos desejos dos formuladores do problema.

A maneira como se atuará no problema é impactada principalmente pela dimensão muito ampla da região de estudo, a América do Sul. O continente possui 13 países com características bastante variadas.

Estas variações podem ser notadas tanto na economia e demografia quanto em características físicas, naturais e geográficas. Por isto é impraticável examinar minuciosamente cada país, detalhando seus mais particulares aspectos. Faz-se necessário, portanto, olhar cada região já sob a ótica do problema, de maneira que não seja perdido tempo em questões que depois serão sobrepujadas pelo que realmente é crítico para a localização de um *smelter*.

O caráter eletro-intensivo da industria será, por exemplo, um dos fatores que serão logo de início examinados em cada país. Isto ocorre porque a energia é crítica para o processo de produção do alumínio e além disto é consumida em larga escala. Se algum país da América do Sul não possui a quantidade e estabilidade necessárias de energia, é desnecessário considerá-lo nos estudos.

Outras simplificações surgirão devido à aplicação do método escolhido para resolver o problema. Isto porque todo método utiliza-se delas, seja para representar a realidade através de modelos matemáticos, seja para reduzir para um nível aceitável a quantidade de esforços humanos ou computacionais necessários à solução do problema.

Com tudo isto, os resultados alcançados poderão ser efetivamente a melhor localização dentro da América do Sul, mas possivelmente se chegará a uma situação de sub-otimização.

Os efeitos negativos da sub-otimização, no entanto, serão minimizados porque todas as decisões subjetivas e restrições impostas ao problema serão feitas sob um olhar crítico e baseadas em métodos de localização, com o auxílio de especialistas no setor da Alcoa Alumínio.

Mesmo com as limitações colocadas anteriormente o objetivo ainda é bastante ambicioso. A literatura e trabalhos neste campo fazem pouca menção a localização internacional de indústrias, ou mesmo em regiões muito amplas. Normalmente os modelos tratam de posicionar a empresa entre múltiplos pontos de demanda ou fornecimento localmente em uma região.

Alcançar este objetivo dependerá de um estudo cuidadoso do problema e suas variáveis críticas, da aplicação correta do modelo de localização

industrial proposto e, não menos importante, da escolha deste modelo, que deve se adaptar às características deste caso.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O trabalho percorrerá cinco grandes etapas para tentar solucionar o problema de localização industrial colocado pela Alcoa Alumínio. As etapas são as seguintes:

- a) Proposta de Trabalho
- b) A Indústria do Alumínio
- c) O Modelo Proposto
- d) Implementação do Modelo
- e) Conclusões

Antes de tudo, um autor deve definir o trabalho que está apresentando, delimitar seu campo, os objetivos que pretende atingir e a estrutura adotada na exposição [3]. Isto é feito na primeira etapa, a Proposta de Trabalho. Neste ponto, o leitor já deve ter passado pela introdução e definição do trabalho assim como pela delimitação dos objetivos e, agora, esta sendo apresentado à estrutura adotada.

A segunda etapa, A Indústria do Alumínio, é uma incursão no ambiente que circunda o problema principal da localização do *smelter* de alumínio. Serão apresentados o processo produtivo, o mercado, a empresa e outros detalhes do setor para que haja um entendimento global da situação e para que todas as inter-relações e considerações necessárias possam ser feitas na fase de construção do modelo.

Esta etapa, apesar de genérica, é de grande importância para o trabalho. Ela fornecerá a base para a correta seleção e execução do método que solucionará o problema da localização.

O Modelo Proposto, terceira etapa, consiste em uma pesquisa por métodos e modelos para a solução de problemas similares ao aqui exposto, seguida da escolha de um destes para a efetiva aplicação ao caso.

A primeira parte, de pesquisa, procurará entender como o problema da localização industrial vem sendo abordado por autores e trabalhos desta área. Como resultado pretende-se expor e explicar sucintamente os métodos e modelos mais utilizados e a relação entre teoria e prática.

À segunda parte caberá escolher uma metodologia e adaptá-la ao problema específico deste trabalho, definindo um roteiro, ou um modelo, para a aplicação que se seguirá. O modelo proposto é fortemente dependente das características e dados levantados no estudo da indústria do alumínio uma vez que é a adaptação para a realidade prática de modelos teóricos, normalmente genéricos.

A implementação é a solução do problema. Utilizando o modelo proposto, o problema é desenvolvido até que os objetivos do trabalho sejam atingidos. A maneira como este processo se desenrolará depende do modelo e por isto, neste momento, não é possível um maior detalhamento.

Por último, o resultado obtido pela implementação do modelo será discutido juntamente com os meios utilizados para obtê-lo, com o objetivo de extrair as conclusões possíveis sobre o trabalho.

#### **1.4 A Engenharia de Produção no Contexto**

O trabalho apresentado está intimamente ligado à área de atuação da engenharia de produção. A localização de plantas deve ser sempre uma preocupação do engenheiro de produção uma vez que dela depende parte das características do sistema produtivo e a capacidade competitiva dos projetos.

O caminho para se determinar à localização percorre diversas disciplinas e temas de interesse desta engenharia. Ao se estudar o problema deste trabalho, caberá ao autor descrever o funcionamento de um *smelter* de alumínio, assim como as instalações, matérias primas, a logística envolvida e tudo mais que for relevante para o processo. Esta descrição deverá ser crítica, já direcionada aos objetivos do trabalho e o profissional mais indicado para a tarefa é, sem dúvida, o engenheiro de produção.

As atividades pertinentes à análise dos modelos e métodos, sua escolha e aplicação também devem ser executadas por um profissional capaz de visualizar o problema de forma ampla, construindo todas as inter-relações necessárias para que seja atingido um resultado significativo. A formação multidisciplinar do engenheiro de produção, mais uma vez, o coloca em sintonia com os pré-requisitos para se atuar no campo da localização industrial.

Por fim, pode ser mencionada a freqüência com que o tema é abordado em trabalhos, livros e artigos elaborados por engenheiros de produção. Autores consagrados como Ruy Aguiar da Silva Leme dedicaram grande parte de suas pesquisas à localização industrial, o que resultou em uma bibliografia extensa e profunda sobre o assunto.

## 1.5 O Estágio e o Trabalho de Formatura

O estágio que proporcionou este trabalho foi realizado na Alcoa Alumínio, subsidiária da Alcoa Inc. a maior empresa do setor de alumínio do mundo, que será apresentada em detalhe no próximo capítulo.

Mais especificamente o estágio ocorreu na área de Aquisição e Logística, responsável pela aquisição de matérias primas e suprimentos para unidades operacionais e não operacionais da Alcoa, sua movimentação e a distribuição dos produtos acabados. O estágio também estava intimamente ligado à área de Primários por que ambas eram gerenciadas por praticamente a mesma equipe. A área de primários era responsável pela comercialização do alumínio primário para clientes externos e para a própria Alcoa, em suas unidades de processamento e manufatura.

Estas áreas desenvolvem freqüentemente estudos e trabalhos de inteligência. Uma das preocupações destes estudos é a expansão sustentável, com a manutenção dos níveis de venda e lucratividade da companhia. A implantação de um novo *smelter* é, portanto, uma possibilidade iminente dentro da empresa e um dos problemas para isto, como colocado pela empresa, é definir um local viável e que confira ao projeto capacidade competitiva frente ao mercado.

Para a execução do trabalho, a relação e dinâmica das áreas possibilitou amplo acesso às duas pontas do processo, as entradas (matérias primas) e as saídas (produtos acabados), complementado pela área de logística que realiza sua coordenação.

A motivação para o trabalho veio da própria empresa e das necessidades de suas lideranças. Assim o estágio e os estudos acadêmicos se conectam, possibilitando que os conceitos aprendidos sejam fixados através de um problema real.

## **Capítulo 2: A Indústria do Alumínio**

---

## 2. A Indústria do Alumínio

### 2.1 Processo de Produção do Alumínio

O alumínio provém de um minério conhecido como bauxita, encontrado de maneira abundante no planeta, principalmente em áreas sub-tropicais. As principais reservas mundiais provadas se encontram na Austrália, Brasil, Guiné, Jamaica e Índia, que somam cerca de 70% do total. A bauxita é refinada dando origem a alumina, que é reduzida eletroliticamente até se tornar o alumínio metálico. O metal segue para diversas aplicações industriais (Figura 2.1).

São necessárias de duas a três toneladas de bauxita para produzir uma de alumina (a qualidade da bauxita é bastante variável) e duas toneladas de alumina para a produção de uma de alumínio metálico.

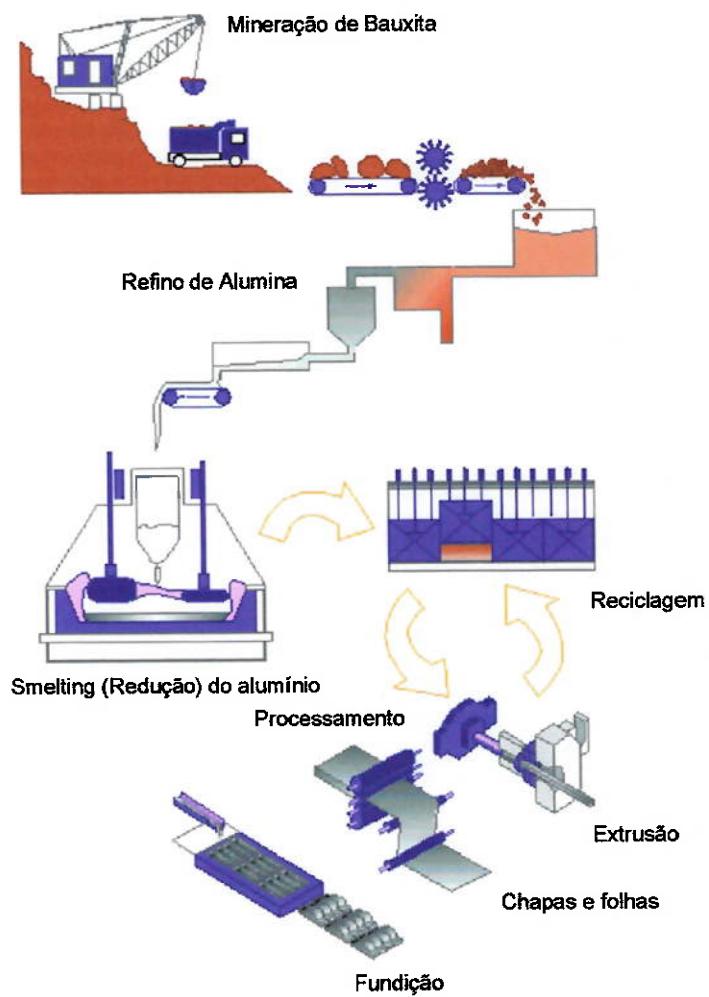
#### 2.1.1 Mineração

O alumínio é o terceiro elemento químico mais abundante na crosta terrestre, depois do oxigênio e do silício e é encontrado em uma seleção de 250 diferentes minerais, sempre oxidado. Dentre estes minerais está a bauxita, que contém formas hidratadas do óxido de alumínio.

As principais reservas de bauxita estão em zonas tropicais do planeta, na Australasia, América Latina, Índias e África. Na América do Sul, a bauxita é encontrada e minerada no Brasil, Venezuela, Guiana e Suriname (Figura 2.2).

A retirada do material das jazidas é usualmente simples, podendo ser realizada com a utilização de escavadeiras mecânicas, uma vez que a bauxita ocorre, em média, em profundidades de 4 a 6 metros no solo.

A composição da bauxita é muito variável no que diz respeito a impurezas e tipo de óxido de alumínio encontrados. As impurezas são principalmente ferro, silício e titânio. Os óxidos variam de acordo com o número de moléculas de água na estrutura e a estrutura cristalina.



**Figura 2.1: O Processo de Produção de Alumínio a Partir da Bauxita**

**Fonte: International Aluminium Institute**

Ao contrário do minério para outros metais base, a bauxita não requer um processamento muito complexo. A simples lavagem da argila e barro com auxílio de centrifugação e outros métodos básicos são suficientes.

Os detalhes do processo de mineração não são relevantes para o trabalho e, por isto, não serão explorados mais a fundo.

## América do Sul



Figura 2.2: Minas de Bauxita na América do Sul

Fonte: International Aluminium Institute

### 2.1.2 Refinação

A indústria do alumínio utiliza o chamado "Processo Bayer" para produzir alumina a partir da bauxita. Este processo, que sofreu somente pequenas alterações desde a instalação da primeira refinaria em 1893, permanece o mais econômico meio de obtenção da alumina, vital para a produção do alumínio metálico.

A indústria do alumínio primário é dependente de um suprimento regular de alumina para quatro funções:

- a) Matéria prima básica para a produção do metal
- b) Isolante térmico para a cobertura das células eletrolíticas
- c) Revestimento para anodos *prebaked*<sup>4</sup>
- d) Filtro absorvente para emissões das células

<sup>4</sup> *Tecnologia de produção de alumínio. Será abordada mais a frente*

As refinarias se distribuem por todo o mundo, como mostra a figura 2.3 a seguir:

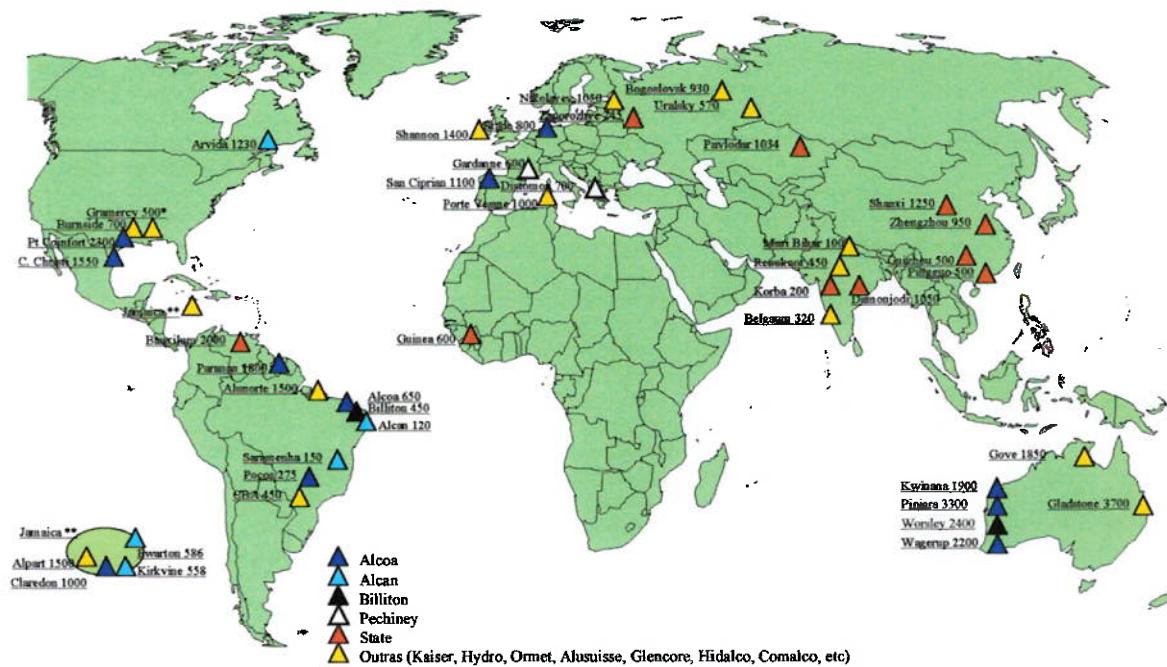
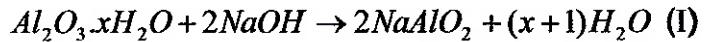


Figura 2.3: Localização e Capacidade das Refinarias de Alumina no Mundo (toneladas x 1000)

Referência: Alcoa Alumínio

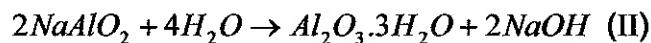
#### 2.1.2.1 O Processo de Produção da Alumina

A bauxita é lavada, coletada e dissolvida em soda cáustica (hidróxido de sódio) sob alta pressão e temperatura. O processo é mais eficiente quando o mineral é previamente triturado. O líquido resultantante contém uma solução de aluminato de sódio e resíduos de bauxita não dissolvidos, contendo ferro, silício e titânio. Estes resíduos, coloquialmente conhecidos em inglês como "red mud" ou lama vermelha, se depositam gradualmente no fundo do tanque e são removidos. O processo pode ser resumido pela expressão seguinte:



A solução "limpa" de aluminato de sódio é bombeada para grandes tanques precipitadores. Pequenas partículas de alumina são adicionadas para iniciar a precipitação de alumina pura a medida que a solução esfria. As partículas se acumulam no fundo do tanque e são removidas para uma

centrífuga a 1100 °C que separa a água quimicamente combinada à alumina. O resultado é um pó branco de puro  $Al_2O_3$ , conforme a expressão II a seguir



### 2.1.3 *Smelting*

A base para toda a produção moderna de alumínio primário em *smelters* é o processo Hall-Héroult, criado em 1886. A alumina é dissolvida em um banho eletrolítico de criolita ( $Na_3AlF_6$ ) líquida dentro de um recipiente de carbono ou grafite, a célula eletrolítica. Uma corrente elétrica é imposta ao eletrólito, a baixa voltagem mas alta intensidade, tipicamente 150.000 Ampères. A corrente flui entre o anodo de carbono (positivo), feito de coque de petróleo e piche, e o catodo (negativo), formado pela grossa camada de carbono ou grafite que reveste a célula.

Alumínio líquido se deposita no fundo da célula e é retirado periodicamente. O metal prossegue para um forno de espera e é frequentemente combinado com outras ligas. O metal final é limpo e geralmente moldado.

Um *smelter* de alumínio típico possui cerca de 300 células que geram por volta de 125.000 toneladas de alumínio anualmente. Em média, são consumidos 15.7 kWh [7] de eletricidade para se produzir um quilograma de alumínio a partir da alumina. Este consumo vem sendo melhorado com a evolução da indústria (Gráfico 2.1).

O processo é eletro-intensivo devido ao alto consumo de energia elétrica e por isso os *smelters* se localizam, em sua grande maioria, em áreas onde existe energia abundante e barata, como a hidroelétrica, que supre 55% da produção primária mundial [7]. Apesar disto, o alumínio pode ser reciclado infinitamente, consumindo 95% menos energia neste processo.

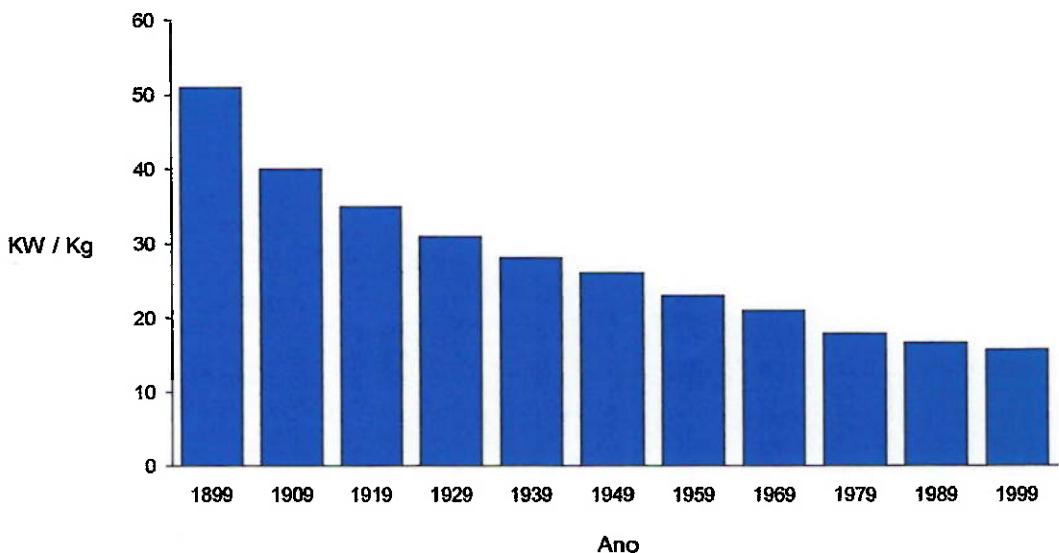


Gráfico 2.1: Consumo de energia na produção de alumínio primário

Fonte: International Aluminium Institute, 2000

O suprimento de energia também é importante para a continuidade do processo. Um *smelter* não é facilmente parado e "religado". Se a produção é interrompida por uma falha no suprimento de energia por mais de quatro horas, o metal se solidifica nas células demandando uma intervenção extremamente cara para a volta a normalidade.

#### 2.1.3.1 A sala de cubas

A sala de cubas é formada por um conjunto de células, arranjadas em linha. Linhas modernas, com célula dispostas lado a lado possibilitam a utilização de guindastes para a realização de quase todas as tarefas necessárias: suprimento de alumina, troca de anodos e remoção do metal líquido.

#### 2.1.3.2 A célula

A célula consiste em duas partes principais:

- Um bloco de carbono formado da mistura de coque de petróleo e piche. O bloco é o anodo, ou eletrodo positivo.
- Abaixo do anodo, localiza-se uma grande caixa metálica revestida com carbono formado por uma mistura de coque metalúrgico e piche. Este revestimento é o catodo, ou eletrodo negativo.

O espaço entre o anodo e o catodo é preenchido pelo eletrólito. A mistura é aquecida a cerca de 980°C, ponto em que derrete e a alumina refinada é adicionada.

A mistura quente, com alumina dissolvida, é eletrolizada a uma baixa voltagem, de 4 a 5 volts, mas a uma alta corrente entre 50.000 e 280.000 Ampères. A eletrólise reduz os íons de alumínio para alumínio metálico no catodo. Oxigênio é gerado no anodo de grafite e reage com o carbono formando dióxido de carbono:



No entanto, parte do metal gerado, ao invés de se depositar no fundo da célula, dissolve-se no eletrólito e é reoxidado pelo CO<sub>2</sub> desenvolvido no anodo.



Esta reação pode reduzir a eficiência da célula e aumentar o consumo de carbono

#### 2.1.3.3 O eletrólito

O eletrólito utilizado é a criolita (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), que é o melhor solvente para alumina. Para melhorar a performance da célula, vários outros componentes são adicionados incluindo fluoreto de alumínio e fluoreto de cálcio (usados para reduzir o ponto de solidificação do eletrólito).

O eletrólito assegura que seja mantida uma separação física entre o metal líquido (no catodo) e o dióxido/monóxido de carbono (no anodo).

#### 2.1.3.4 O anodo

Como visto, os anodos de carbono usados no processo Hall-Héroult são consumidos na eletrólise. Duas tecnologias existem para os anodos: Söderberg e Pre-Bake.

Anodos *Pre-Bake* são construídos separadamente, utilizando partículas de coque unidas a piche, assadas em um forno. Estes anodos são consumidos e necessitam de substituição (Figura 2.4).

Todas as novas plantas e a grande maioria das expansões de produção de alumínio primário são baseadas na tecnologia *Pre-Bake*.

A tecnologia Söderberg utiliza um anodo contínuo que alimenta a célula na forma de uma pasta. Ao contrário da tecnologia *Pre-Bake*, estes anodos são assados pelo calor gerado na célula eletrolítica (Figura 2.5).

Em 1997, cerca de 16% dos produtores utilizavam a tecnologia Söderberg enquanto cerca de 84% utilizavam anodos *Pre-Bake* [7].

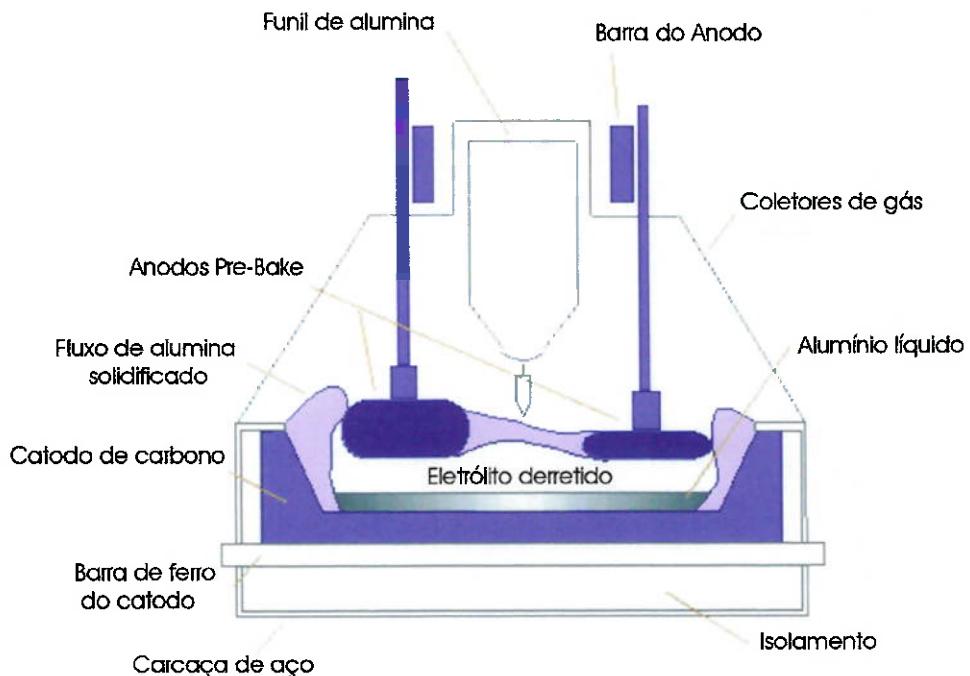


Figura 2.5: Célula *Pre-Bake*

Fonte: Adaptado de International Aluminium Institute

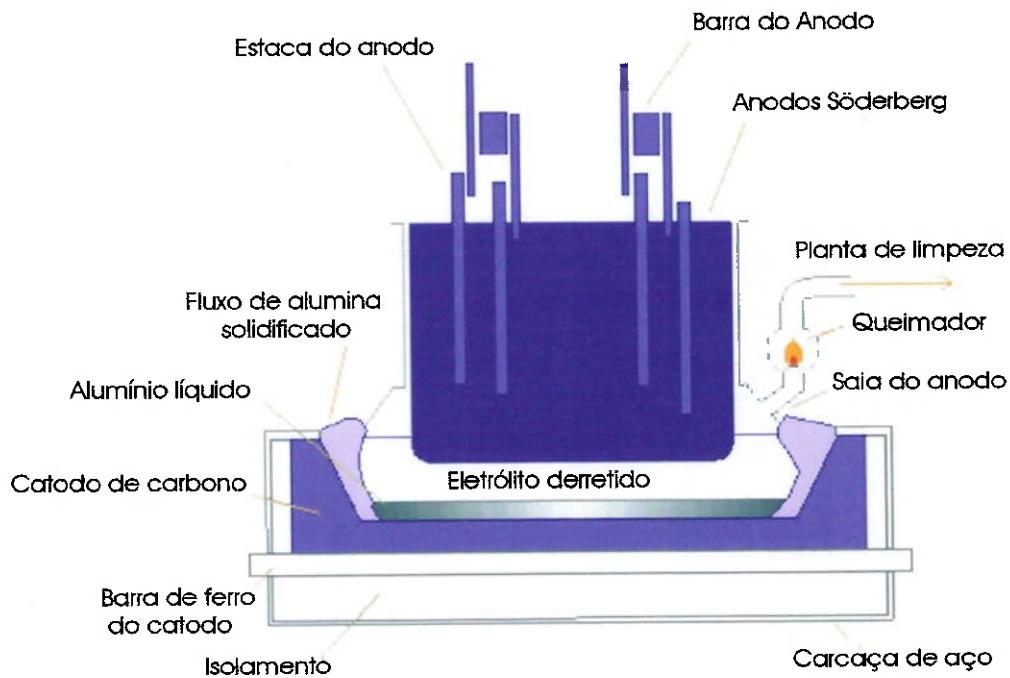


Figura 2.5: Célula Söderberg

Fonte: International Aluminium Institute

## 2.2 A Empresa<sup>5</sup>

### 2.2.1 Panorama Histórico

Em 1965 foi fundada no Brasil a Companhia Mineira de Alumínio, Alcominas, em Poços de Caldas, no sul do estado de Minas Gerais. Naquela época, a disponibilidade de recursos estratégicos para a indústria do alumínio como reservas de bauxita e o potencial energético foram determinantes para a escolha da localização.

A partir de 1970, a então Aluminum Company of America<sup>6</sup>, Alcoa, que já contava com participação acionária na Alcominas, adquiriu o controle da empresa. Atualmente a Alcoa Alumínio S.A. é a maior subsidiária da Alcoa Inc.

Em 1970 a Alcoa iniciou suas operações no complexo industrial de Poços de Caldas e a comercialização dos produtos. A capacidade anual era de 60 mil toneladas de alumina e 30 mil de alumínio.

<sup>5</sup> Adaptado de [8]

<sup>6</sup> A Alcoa recentemente deixou de utilizar a forma extensa do nome, Aluminum Company of America, passando a utilizar apenas Alcoa Inc.

Apesar das crises mundiais que sucederam a chegada do Alcoa no Brasil, a empresa cresceu rapidamente e entre 1974 e 1976 ocorreu a primeira grande expansão, levando a capacidade anual para 160 mil toneladas de alumina e 60 mil de alumínio.

Entre 1976 e 1979 a capacidade foi novamente elevada para 210 mil toneladas de alumina e 90 mil de alumínio, com o governo federal encorajando o consumo interno do alumínio produzido no país.

O complexo industrial de Poços de Caldas foi complementado por uma fábrica de condutores elétricos (alumínio e cobre) e uma fábrica de pó de alumínio respectivamente em 1979 e 1981. A expansão prosseguiu e até 1983 a Alcoa adquiriu uma fábrica de produtos laminados e extrudados em Itapissuma, Pernambuco, e uma fábrica de extrudados e fundidos de alumínio em Pindamonhangaba, São Paulo.

Um ano depois, em 1984, iniciaram-se as operações do consórcio Alumar em São Luís, no Maranhão, em associação com a Billiton Metais, o maior investimento privado no país até então,/ no valor de aproximadamente US\$1,4 bilhão. Com a operação desta fábrica a companhia tornou-se a maior produtora de alumínio do país, respondendo por 25% de produção nacional.

Em 1985, mais uma unidade de produtos extrudados, em Sorocaba, foi adquirida. Em 1987 a Alcoa incorporou a Forest, com fábricas de condutores elétricos de cobre, alumínio e fibra ótica, situadas nos estados de São Paulo e Pernambuco.

Dois anos depois a Alcoa deu um passo rumo a diversificação de suas atividades com a implantação de uma fábrica de tampas plásticas para bebidas gaseificadas situada em Osasco, São Paulo.

Uma das tradicionais concorrentes da Alcoa, a canadense Alcan vendeu-lhe em 1996 por US\$ 50 milhões todas as suas operações de extrusão de perfis de alumínio, passando a Alcoa a deter grande fatia deste segmento.

Ainda em 1996, prosseguindo sua marcha de grande expansão, a Alcoa reforçou a atuação na área de fios e cabos para telecomunicações através de

uma parceria com a Alcatel. A *joint venture*, chamada Alcatel Fios e Cabos do Brasil, tinha participações de 60% da Alcatel e 40% da Alcoa.

Em dezembro de 1997 a Alcoa se lançou em uma nova *joint venture*, a Phelps Dodge & Alcoa Fios e Cabos Elétricos S.A., que na realidade foi a venda pela Alcoa de 60% de sua unidade de condutores elétricos em Poços de Caldas para a gigante norte-americana Phelps Dodge Corporation, maior produtora mundial de vergalhões de cobre. O valor do negócio foi de cerca de US\$ 120 milhões.

Em 2000 entrou em operação a fábrica de rodas forjadas de alumínio para caminhões no complexo industrial de Itapissuma, Pernambuco. O investimento foi de aproximadamente US\$ 50 milhões.

Atualmente a Alcoa tem aproximadamente 7.000 funcionários, que garantem um quarto de toda a produção de alumínio do país. A estrutura é vertical, integrando desde a mineração até a comercialização de produtos manufaturados, como rodas e perfis.

### 2.2.2 Unidades de Negócio e Principais Produtos

A Alcoa está organizada em unidades de negócio como mostra a Figura 2.5.

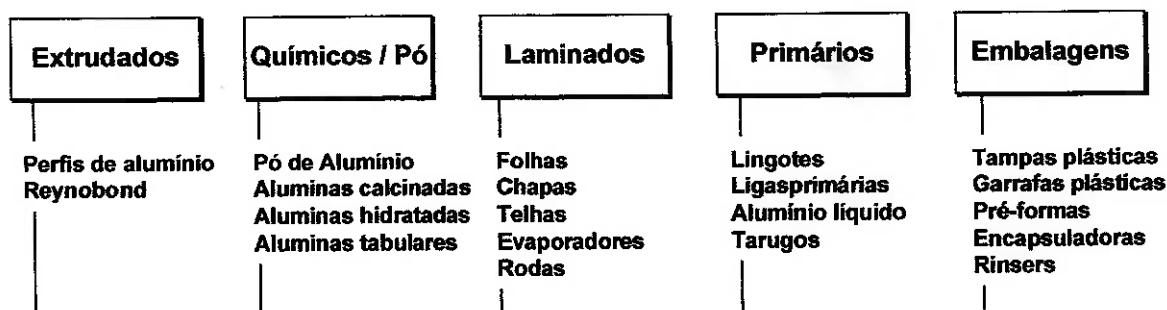


Figura 2.5: Unidades de Negócio da Alcoa no Brasil

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 2.2.2.1 Primários e Químicos / Pó

A produção de primários engloba todas as etapas de produção até o lingotamento, ou seja, a mineração, o refino da alumina e o *smelting*. Além dos produtos principais, o alumínio e a alumina, alguns produtos derivados são

gerados no processo. A Alcoa possui duas unidades integradas de produção de alumínio e alumina e uma de produção de alumina fundida e produtos químicos derivados da alumina.

#### **2.2.2.2 *Extrudados***

A Alcoa Alumínio é a líder de mercado em termos de produção e distribuição de produtos extrudados. Os setores industrial e da construção civil são os principais mercados para os perfis, distribuídos por uma rede de 30 depósitos espalhados por todo o território nacional.

#### **2.2.2.3 *Laminados***

A unidade de laminados conta com uma fábrica em Itapissuma, Pernambuco, para a produção de chapas, folhas, telhas e evaporadores. Em 2000 foi iniciada a comercialização de rodas forjadas de alumínio para caminhões. Em Itaipava, São Paulo, a Alcoa produz para o setor de embalagens flexíveis.

#### **2.2.2.4 *Embalagens e Tampas Plásticas***

Após cinco anos neste segmento, a Alcoa Alumínio já emergia como líder no fornecimento de materiais de embalagens (tampas, garrafas PET, rótulos, etc.) para os produtores de bebidas carbonatadas da América do Sul. Atualmente a empresa está entre os maiores consumidores mundiais de resina PET e PP para aplicações em embalagens.

### **2.3 Panorama Setorial<sup>7</sup>**

#### **2.3.1 Histórico**

Antes da segunda guerra mundial (1939-1945), a produção mundial de alumínio estava nas mãos de quatro empresas: Alcoa e Alcan na América do Norte; e Alusuisse e Pechiney na Europa.

Logo após a guerra entraram no mercado mais duas empresas, a Reynolds e a Kaiser, através do arrendamento e posterior aquisição de

---

<sup>7</sup> Adaptado de [8]

fábricas da Alcoa nos Estados Unidos, quando o governo do país decidiu aumentar a produção do metal durante o conflito. O cenário então criado deu origem ao grupo que se tornou conhecido como as "Seis Irmãs" do alumínio mundial.

A indústria apresentou expressivo crescimento até a década de 70, quando passou a enfrentar uma retração da demanda e uma elevação dos custos da energia e de produção. Até então o setor possuia um caráter fortemente oligopolista, num índice que chegou a superar 80% [9].

Em função das instabilidades geradas pela crise do petróleo, que promoveu uma retração da demanda e aumento dos custos de produção, as empresas passaram a apresentar baixa rentabilidade e redução acentuada dos resultados. Como consequência, associada à pressão nos países desenvolvidos em relação à preservação ambiental, ocorreram cortes na produção e fechamento de unidades nos EUA, Japão e Europa.

A indústria mundial passou então a se direcionar para países com maior oferta de recursos naturais e energéticos. A pulverização da produção ocorrida a partir da década de 70 alterou significativamente a estratégia dos principais grupos internacionais. Os grandes grupos intensificaram a sua verticalização, promovendo investimentos nas áreas de fundição e laminação, extendendo seus domínios aos mercados de transformados, voltados principalmente para transportes, embalagens, construção civil e o setor automobilístico.

Ao final da década de 70, as "Seis Irmãs" deixaram de controlar as cotações do produto, que passou a ser negociado como uma *commodity* na bolsa de metais de Londres.

Durante as décadas de 80 e 90 as grandes empresas do setor passaram por profundas reestruturações internas, que visaram o aumento da rentabilidade perdida. Entre as principais medidas estavam os cortes de despesas, desenvolvimento de novos mercados e substituição dos administradores. A fusão entre as gigantes Alcoa Inc. e Reynolds, concretizada no início de 2000, é reflexo dessa busca por uma estrutura mais enxuta e pela ampliação de mercados.

O processo de reestruturação conduziu à situação atual, um cenário onde cerca de 152 empresas mantêm operações de alumínio primário ao redor do mundo. Entretanto, a participação das principais empresas – Alcoa/Reynolds, Alcan, Kaiser, Pechiney e Alussuisse – no cenário internacional ainda é bastante grande.

### **2.3.2 Produção Mundial**

A produção mundial de alumínio primário apresenta-se novamente crescente desde 1995, após um aumento e uma posterior queda no período 1991-1994 (Tabela 2.1). Em 1997, a produção mundial atingiu cerca de 21,5 milhões de toneladas, um crescimento de 8,4% em relação a 1995. Em 1998 atingiu-se 22,2 milhões de toneladas, um crescimento de 3% em relação ao ano anterior. A taxa média de crescimento entre 1990-1998 foi de 0,97%.

Os maiores produtores mundiais em 1998 foram os Estados Unidos, seguidos pela Rússia, Canadá e China, que em conjunto representaram 52% da produção mundial de alumínio primário. A China apresentou a maior evolução, dobrando a produção nos últimos seis anos. No segundo grupo de produtores destacam-se Brasil e Austrália. O Brasil vem mantendo a sexta posição entre os produtores mundiais de alumínio, tendo produzido em 1998 um total de 1.208 mil toneladas, cerca de 6% da produção mundial.

### **2.3.3 Capacidade Instalada Mundial**

A capacidade de produção mundial de alumínio atual é de cerca de 23,4 milhões de toneladas. A América do Norte é o continente com maior capacidade, 6,4 milhões de toneladas. O nível de ociosidade do setor atingiu cerca de 6%.

### **2.3.4 Consumo Mundial**

O consumo mundial de alumínio em 1998 apresentou crescimento de 4,9% em relação ao ano anterior (Tabela 2.2). Em 1998 foram consumidas 21,8 milhões de toneladas no mundo. A taxa média de crescimento anual do consumo global no período de 1990-1998 foi de 2,6%.

Os Estados Unidos, maior produtor e consumidor mundial, juntamente com Japão, China e Alemanha respondem por mais da metade do alumínio

consumido no mundo. A taxa média anual de crescimento do consumo nestes países foi de 5,2% no período de 1991-1998.

Os países do Sudeste Asiático, em conjunto, respondem por 29,4% do consumo mundial, o equivalente a 6,4 milhões de toneladas. A taxa média de crescimento anual do consumo nestes países foi de 6,4% no período de 1990-1998.

Os maiores mercados para o alumínio no mundo são o de embalagens e transportes, principalmente devido à leveza do material (Tabela 2.3).

Embora o setor de embalagens venha apresentando uma média de crescimento anual superior, o principal destino do alumínio no mundo continua sendo o setor de transportes, com destaque para a indústria automobilística. No Brasil, os destinos basicamente apresentam uma inversão de posições entre os setores de transporte e embalagem, sendo que nos demais a participação é bastante similar.

O maior consumo per capita de alumínio no mundo é o americano (Gráfico 2.1), com 34,2 Kg/hab. em 1998. Logo em seguida vêm a Holanda e a Áustria, com 28,4 Kg/hab. e 28,2 Kg/hab., respectivamente, em 1998.

### **2.3.5 Energia Elétrica e o Setor**

O principal fator determinante para a expansão da indústria do alumínio no mundo é a disponibilidade de energia, uma vez que esse item chega a atingir cerca de 40% dos custos de produção, o que ressalta a característica eletrointensiva da indústria [10].

No passado recente, esse foi o principal fator de deslocamento entre as fábricas do mundo. O caso de alguns países que ofereciam a energia como atrativo para investimentos externos já não ocorre hoje, percebendo-se uma alteração da situação nos últimos anos. Devido a alguns fatores, como a desregulamentação e a privatização dos serviços de energia elétrica, observa-se mundialmente, a convergência de tarifas de energia para um mesmo patamar.

Produção de alumínio primário (1000 toneladas)

Países	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>América do Norte</b>	<b>5.657</b>	<b>5.683</b>	<b>5.994</b>	<b>6.039</b>	<b>6.003</b>	<b>6.654</b>	<b>6.567</b>	<b>5.921</b>	<b>5.996</b>	<b>6.153</b>
Canadá	1.555	1.567	1.822	1.972	2.308	2.255	2.172	2.283	2.327	2.374
Estados Unidos	4.030	4.048	4.121	4.042	3.695	3.299	3.375	3.577	3.603	3.713
México	72	68	51	25	-	-	10	61	66	66
<b>América do Sul</b>	<b>1.618</b>	<b>1.719</b>	<b>1.937</b>	<b>1.942</b>	<b>1.943</b>	<b>1.972</b>	<b>2.032</b>	<b>2.042</b>	<b>2.039</b>	<b>2.002</b>
Argentina	162	166	165	156	173	175	186	184	184	185
Brasil	888	931	1.140	1.193	1.172	1.185	1.188	1.197	1.189	1.208
Suriname	28	32	31	32	30	27	28	32	32	29
Venezuela	540	590	601	561	568	585	630	629	634	580
<b>Ásia</b>	<b>1.904</b>	<b>2.013</b>	<b>2.316</b>	<b>2.901</b>	<b>3.018</b>	<b>3.266</b>	<b>3.559</b>	<b>3.595</b>	<b>3.770</b>	<b>4.016</b>
Bahrain	187	213	227	292	448	447	451	461	490	499
China	750	850	963	1.100	1.220	1.450	1.680	1.770	1.960	2.100
Coréia do Norte	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coréia do Sul	18	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Emirados Unidos da Arábia	168	174	239	245	242	247	240	251	260	377
Índia	423	433	504	496	466	472	537	531	484	542
Indonésia	197	186	187	173	206	222	220	225	216	130
Irã	54	60	108	117	109	116	119	80	92	95
Japão	35	34	32	19	18	17	18	17	17	17
Tadjiquistão	-	-	-	400	250	235	232	198	189	196
Turquia	62	61	56	59	59	60	62	62	62	60
<b>África</b>	<b>607</b>	<b>605</b>	<b>605</b>	<b>614</b>	<b>615</b>	<b>590</b>	<b>589</b>	<b>966</b>	<b>1.095</b>	<b>992</b>
Africa do Sul	166	159	169	173	175	172	195	570	673	650
Camarões	92	93	83	83	87	89	79	82	90	88
Egito	180	179	178	178	178	188	180	177	177	178
Gana	169	174	175	180	175	141	135	137	152	56
Nigéria	-	-	-	-	-	-	-	-	3	20
<b>Oceânia</b>	<b>1.501</b>	<b>1.490</b>	<b>1.488</b>	<b>1.479</b>	<b>1.658</b>	<b>1.586</b>	<b>1.570</b>	<b>1.657</b>	<b>1.805</b>	<b>1.934</b>
Austrália	1.244	1.230	1.230	1.236	1.381	1.317	1.297	1.372	1.495	1.627
Nova Zelândia	257	260	258	243	277	269	273	285	310	307
<b>Europa</b>	<b>7.722</b>	<b>7.785</b>	<b>7.315</b>	<b>6.658</b>	<b>6.536</b>	<b>6.244</b>	<b>6.362</b>	<b>6.570</b>	<b>6.772</b>	<b>7.021</b>
<b>I União Européia</b>	<b>2.679</b>	<b>2.622</b>	<b>2.490</b>	<b>2.363</b>	<b>2.235</b>	<b>2.159</b>	<b>2.220</b>	<b>2.235</b>	<b>2.257</b>	<b>2.309</b>
Alemanha	796	740	690	603	552	505	575	576	572	572
Áustria	93	89	80	33	-	-	-	-	-	-
Espanha	352	353	355	359	364	338	361	362	360	362
Frância	335	326	286	418	426	438	372	380	399	400
Grécia	145	150	152	153	148	144	144	141	133	135
Holanda	274	270	284	227	232	219	216	227	232	264
Itália	219	232	206	161	156	176	198	184	188	188
Reino Unido	297	294	294	244	239	231	238	240	248	260
Suécia	97	96	97	103	82	84	95	98	98	96
Suíça	71	72	66	52	36	24	21	27	27	32
<b>I Outros Europa</b>	<b>5.043</b>	<b>5.163</b>	<b>4.825</b>	<b>4.205</b>	<b>4.301</b>	<b>4.085</b>	<b>4.142</b>	<b>4.336</b>	<b>4.515</b>	<b>4.712</b>
Azerbaijão	-	-	-	25	20	5	4	1	5	5
Bósnia-Herzegovina	-	-	-	30	15	10	10	10	15	15
Cróácia	-	-	-	20	26	26	31	38	35	35
Eslaváquia	-	-	-	-	39	33	31	35	35	35
Eslóvenia	-	-	-	85	83	77	58	60	60	50
Hungria	75	75	63	27	28	31	25	30	35	35
Islândia	88	87	89	89	94	99	100	104	123	163
Iugoslávia	331	349	315	-	-	-	-	-	-	-
Noruega	863	845	833	838	887	857	847	863	919	996
Polônia	48	46	46	44	47	50	56	52	52	51
Romênia	269	168	160	112	116	120	141	141	163	150
Rússia	-	-	-	2.700	2.820	2.670	2.724	2.874	2.906	3.005
Sérvia-Montenegro	-	-	-	67	26	7	17	37	66	65
Tchecoslováquia	69	70	68	68	-	-	-	-	-	-
Ucrânia	-	-	-	100	100	100	98	90	101	107
URSS	3.300	3.523	3.251	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total Mundial</b>	<b>19.009</b>	<b>19.295</b>	<b>19.655</b>	<b>19.533</b>	<b>19.773</b>	<b>19.212</b>	<b>19.669</b>	<b>20.751</b>	<b>21.477</b>	<b>22.118</b>

Tabela 2.1: Produção Mundial de Alumínio Primário

Fonte: Referência [11]

**Consumo aparente (1000 toneladas)**

Países	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>América do Norte</b>										
Canadá	729,0	604,0	571,0	600,0	660,0	735,0	769,0	728,0	756,0	853,0
Estados Unidos	6.406,9	6.699,5	6.476,7	6.952,2	7.975,6	8.107,4	8.031,7	8.282,4	8.636,8	9.150,7
México	133,4	175,3	166,1	201,6	201,8	233,0	186,3	230,7	269,5	417,4
<b>América Central</b>										
El Salvador	1,7	1,6	nd	nd	2,2	2,5	2,7	0,9	2,2	nd
Panamá	4,9	5,7	6,6	5,6	7,0	7,6	8,5	8,7	9,0	10,0
<b>América do Sul</b>										
Argentina	13,8	49,7	79,4	99,4	94,5	105,8	85,8	111,1	121,6	133,1
Brasil	392,7	317,3	338,0	326,4	389,2	466,4	503,1	547,2	646,7	704,1
Venezuela	161,7	164,0	165,5	99,2	130,8	120,8	134,5	117,3	nd	nd
<b>Ásia</b>										
Bahrain	29,0	51,0	110,0	132,0	71,0	61,0	68,0	84,0	79,0	107,0
China	nd	nd	nd	nd	1.668,0	2.230,0	2.367,0	2.431,0	2.630,0	2.630,0
Filipinas	nd	nd	nd	nd	nd	86,1	55,7	65,7	62,5	54,3
India	429,8	443,0	450,0	382,8	389,0	443,4	504,0	533,8	510,7	480,4
Japão	3.644,3	3.877,0	3.886,8	3.619,1	3.393,1	3.631,1	3.801,0	3.876,1	4.017,0	3.513,5
Turquia	65,0	244,0	217,0	228,0	279,0	228,1	177,0	179,3	228,7	225,5
<b>Africa</b>										
Africa do Sul	141,6	101,9	112,7	110,9	116,0	134,4	174,3	187,6	189,9	210,4
Camarões	24,2	21,4	21,8	21,4	20,7	14,3	20,6	21,7	23,3	25,1
<b>Oceânia</b>										
Austrália	330,0	317,0	306,8	289,0	312,7	354,0	311,9	340,3	365,9	376,0
Nova Zelândia	37,0	34,3	27,0	38,2	45,1	58,4	57,7	54,5	56,5	54,8
<b>Europa</b>										
<b>I União Européia</b>										
Alemanha	1.810,1	1.883,8	2.031,9	2.043,8	1.745,2	2.018,5	2.173,0	1.958,2	2.117,2	2.228,8
Áustria	164,4	165,6	156,4	184,6	155,0	172,5	212,6	222,9	232,4	229,0
Bélgica	76,8	123,2	124,7	111,6	70,9	86,7	65,3	104,9	91,4	172,1
Dinamarca	71,7	90,7	84,4	85,0	65,3	101,2	106,5	100,1	114,0	114,3
Espanha	277,0	295,0	294,0	302,0	318,0	335,0	423,4	405,8	501,6	530,1
Finlândia	55,4	52,0	44,2	47,3	40,3	62,9	51,1	54,0	67,1	74,1
França	964,7	986,5	981,0	988,7	846,6	999,0	1.026,6	1.018,9	1.099,6	1.150,1
Grécia	62,7	57,8	88,4	90,2	46,9	nd	97,4	nd	nd	nd
Holanda	259,3	239,0	225,5	260,9	335,7	384,1	443,2	398,1	370,7	444,0
Irlanda	18,2	21,4	18,4	20,9	27,5	nd	36,5	73,0	51,7	nd
Itália	1.080,9	1.096,1	1.135,6	1.132,0	966,4	1.194,6	1.222,1	1.067,4	1.272,4	1.371,0
Portugal	60,9	64,4	70,0	80,9	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Reino Unido	657,3	688,8	599,9	799,7	906,8	811,0	649,5	1.040,0	659,7	890,6
Suécia	191,7	183,0	159,9	163,3	177,5	184,9	231,5	234,1	nd	243,0
Suíça	162,8	152,6	131,9	120,9	117,1	146,5	130,8	119,1	143,8	169,7
<b>Outros Europa</b>										
Hungria	170,2	160,7	nd	nd	nd	40,4	nd	nd	nd	nd
Islândia	3,5	1,4	4,7	3,1	2,5	3,2	3,9	4,6	8,4	nd
Noruega	109,0	80,6	79,7	83,0	120,2	91,4	94,1	91,1	nd	94,8
Rússia	nd	nd	nd	1.374,7	678,3	402,3	376,1	225,7	nd	nd

**Tabela 2.2: Consumo Mundial de Alumínio Primário**

Fonte: Referência [11]

O resultado verificado é o aumento da competição entre os fornecedores e a disponibilidade de novas fontes de energia, além do barateamento dos custos de geração e transmissão de energia. Tais fatos têm implicações importantes na localização das novas metalúrgicas.

Comparativo do consumo por setor -1998

Países	Construção civil		Transportes		Indústria de eletricidade		Bens de consumo		Embalagens		Máquinas e equipamentos		Outros		Total	
	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)	Volume (1000 t)	(%)
Alemanha	249,0	20,1	435,0	35,1	64,2	5,2	47,7	3,8	124,4	10,0	114,3	9,2	204,5	16,5	1.239,1	100,0
Brasil	119,4	17,0	124,9	17,7	110,8	15,7	55,9	7,9	189,8	27,0	28,8	4,1	74,5	10,6	704,1	100,0
Espanha	15,4	6,7	85,8	37,1	18,7	8,1	11,5	5,0	74,3	32,1	14,2	6,1	11,5	5,0	231,4	100,0
Estados Unidos	1.392,5	15,0	3.248,6	35,1	714,0	7,7	725,3	7,8	2.273,4	24,6	628,7	6,8	273,0	2,9	9.255,5	100,0
Fráncia	83,4	13,9	246,8	41,1	74,5	12,4	23,8	4,0	64,8	10,8	30,8	5,1	75,8	12,6	599,9	100,0
Itália	312,6	31,7	230,5	23,4	72,8	7,4	102,8	10,4	119,5	12,1	86,1	8,7	62,5	6,3	986,8	100,0
Japão	791,0	22,5	1.149,0	32,7	231,1	6,6	456,6	13,0	421,3	12,0	129,9	3,7	332,5	9,5	3.511,4	100,0
Reino Unido	66,3	15,5	94,5	22,1	17,7	4,1	15,7	3,7	106,7	25,0	37,0	8,7	89,5	20,9	427,4	100,0

Tabela 2.3: Comparativo de Consumo por Setor (1998)

Fonte: Referência [11]

## **Capítulo 3: O Modelo Proposto**

---

### **3. O Modelo Proposto**

#### **3.1 Localização Industrial**

O desafio maior no âmbito da localização é encontrar a posição geográfica que maximize os retornos de um dado projeto, não só para o período de instalação, mas também considerando todo o seu tempo de operação. WOILER[2] coloca que "procura-se a localização que dê o maior lucro possível para a empresa, num prazo de tempo compatível com a vida útil do empreendimento local", referindo-se a projetos empresariais privados.

O problema da localização vem sendo abordado de diversas formas por trabalhos desenvolvidos principalmente nos Estados Unidos e Europa. SILVA LEME [3] estudou as mais importantes teorias e modelos, trazendo-os para o Brasil e, mais importante, adaptando-os ao contexto nacional e enriquecendo-os pela incorporação de novos instrumentos.

Dois métodos para o tratamento do problema da localização industrial serão apresentados a seguir. O primeiro é um grande grupo de métodos chamado "Teoria da Localização", que se utiliza principalmente de técnicas de modelagem matemática para a resolução dos problemas. O segundo é o "Método dos Orçamentos Comparados", uma abordagem prática que na maioria das aplicações nos dá a resposta adequada ao problema da localização [4].

##### **3.1.1 Teoria da Localização – Modelos Matemáticos [4]**

O lucro obtido pela venda de um produto é o resultado da diferença entre a receita obtida e os custos incorridos. De forma simplificada, a receita unitária é o preço do produto, enquanto o custo unitário é uma combinação dos custos de transporte das matérias primas e do produto acabado e os custos de produção e aquisição de insumos. Todos estes fatores variam de acordo com a localização da indústria, seja pelo aumento ou diminuição das distâncias de transporte ou pela mudança de níveis salariais, taxa de juros e aluguel, entre outros fatores. Os modelos matemáticos procuram encontrar a localização que minimize os custos, expressos em uma função objetivo criada sob uma representação matemática da realidade que circunda a empresa. A solução

encontrada deve ser corrigida por fatores não econômicos, ou seja, que numa primeira análise não impactam o lucro mas que, na prática, influenciam o projeto.

Segundo SILVA LEME [3], os fundamentos básicos da teoria da localização se encontram nas obras de Von Thünen, Alfred Weber e August Lösch. Estas três obras, somadas às de autores menos conhecidos constituem a chamada Teoria Clássica da Localização. Teorias mais recentes vem sendo criadas através da incorporação de novos instrumentos, por exemplo na área de programação linear.

A seguir tem-se uma síntese do modelo de Weber, definido por suas hipóteses [5].

- Uma única planta deverá ser estabelecida em um ponto  $s$  em um plano ( $\mathbb{R}^2$ )
- $m$  pontos de demanda ou fornecimento de matéria prima (apenas um ponto para cada tipo de matéria prima), conectados à planta, sendo o  $j^{\text{ésimo}}$  ponto denominado por  $a^j \in \mathbb{R}^2$  para  $j = 1, 2, \dots, m$ .
- A distância entre a planta em  $s$  e o ponto  $a^j$  é a euclidiana, ou seja, em linha reta, definida por  $\|s - a^j\|$ . O transporte não está vinculado à rede de transporte existente.
- O custo de transporte entre a planta em  $s$  e o ponto  $a^j$  é uma função linear crescente da distância percorrida, definida por  $w_j \|s - a^j\|$ .
- A planta será estabelecida no ponto  $s^*$  do  $\mathbb{R}^2$  que minimiza os custos de transporte:

$$f(s^*) = \min_{s \in \mathbb{R}^2} \sum_{j=1}^m w_j \|s - a^j\| \quad (\text{V})$$

A Figura 3.1 ilustra o modelo de Weber.

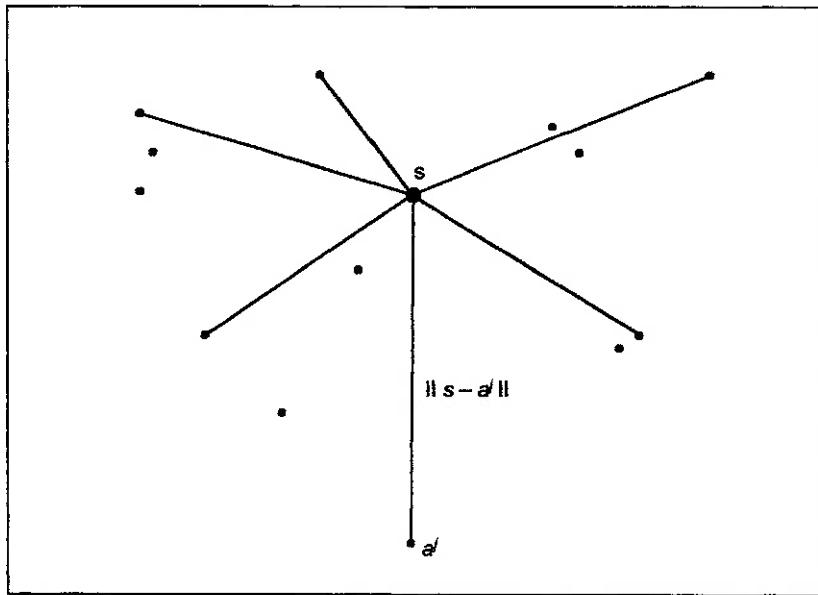


Figura 3.1: Representação do Modelo de Weber

Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo considera os preços e demandas por produtos variáveis independentes da localização, assim como os custos de produção. Deste fato decorre que a maximização dos lucros passa a ser equivalente à minimização dos custos de transporte, uma vez que os outros custos e as receitas são constantes.

A solução de problemas modelados desta forma pode ser puramente mecânica, baseada em um potencial mínimo de uma distribuição de pesos proporcionais ao produto entre distância transportada e massa a transportar (modelo mecânico de Varignon[3]).

O modelo de Weber é bastante simples e por isso possui aplicações limitadas quando se trata da localização prática de plantas. Apesar disto, o modelo é a base para muitos outros, aprimoramentos do original, que tentam eliminar algumas das simplificações impostas e que o afastam da realidade prática.

Como exemplos de variações do modelo de Weber podem ser citadas a inclusão do transporte vinculado a uma rede de transporte pré-definida ou ainda o *Generalized Weber Problem* (Problema de Weber Generalizado)[5]. Na primeira variante, o transporte que era realizado em linha reta passa a estar vinculado à malha pré-existente na região de estudo (Figura 3.2). Silva Leme [3] trabalha este modelo através de uma solução interessante, que consiste em

executar cortes nas vias de comunicação e examinar potenciais de cada lado do corte, definindo de que lado está a solução ótima.

O *Generalized Weber Problem* altera diversas hipóteses iniciais do modelo original para torná-lo mais realista. Para isto, uma restrição locacional proíbe o estabelecimento da planta em locais já ocupados ou inapropriados. A planta deve, portanto, ser colocada em um ponto  $s \in G \subset \mathbb{R}^2$ , onde  $G$  é um conjunto de possíveis localizações. Além disto, a distância entre dois pontos não é mais a euclidiana, mas sim uma melhor aproximação<sup>8</sup> e a função que estabelece o custo de transporte entre dois pontos não precisa mais ser linear.

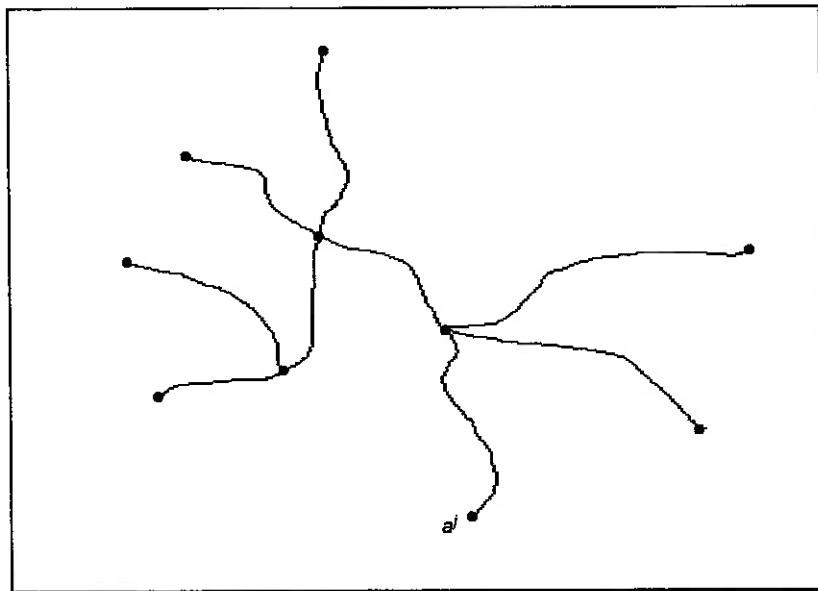


Figura 3.2: Representação do Modelo de Weber com Transporte Vinculado  
Fonte: Elaborado pelo autor

Na literatura especializada vários são os métodos quantitativos apresentados para estudo de problemas de localização industrial [14]. No entanto, modelos mais sofisticados e realistas tendem a ter soluções mais difíceis de serem encontradas, necessitando de algoritmos e esforços computacionais mais desenvolvidos. Por esta razão, o ótimo muitas vezes não é atingido e se utilizam soluções sub-ótimas.

<sup>8</sup> A distância é dada por  $\|s - a^j\|$ , onde  $\|\cdot\|$  é uma função de predição de distâncias

### 3.1.2 Método dos Orçamentos Comparados

O método dos orçamentos comparados é uma maneira bastante prática de se obter soluções para problemas de localização industrial.

O método considera os fatores mais importantes na decisão da localização, chamados de "fatores localizacionais", para que sejam atingidos os objetivos da empresa, tanto de maximização do lucro quanto intangíveis, como satisfação pessoal dos trabalhadores ou questões políticas.

O método consiste, na sua essência, na execução de três itens [4]:

- a) Uma lista exaustiva de quesitos, que deve ser adequada à própria empresa para explicar todos os aspectos que devem ser considerados no estudo da localização.
- b) Uma lista exaustiva de quesitos que deve ser feita sobre qualquer localidade antes de julgá-la como uma possível escolha para localização.
- c) Um exame comparativo das localidades que responderem favoravelmente aos quesitos feitos no item b, tendo em vista as respostas aos quesitos do item a.

O item "a" diz respeito à seleção dos fatores localizacionais mais importantes à empresa e ao problema. Pode-se enumerar algumas categorias de fatores [2]:

- ***Fatores que orientam a localização pelas entradas:*** Empresas que utilizam matérias primas muito volumosas ou pesadas, cujos custos totais de transporte têm grande impacto, tendem a se localizar junto às fontes destas matérias primas. Alguns exemplos são refinarias de alumina, como a unidade de Poços de Caldas da Alcoa, que geralmente se localizam junto às minas de bauxita, indústrias de celulose e de cimento.
- ***Fatores que orientam a localização pelas saídas:*** Isto ocorre para empresas cujo mercado tem grande importância e, por isso, tendem

a se localizar próximas a ele. Alguns exemplos são a grande maioria do setor terciário (serviços) e as indústrias de refrigerantes e cervejas.

- **Fatores que orientam a localização pelo processo:** Neste caso encontram-se empresas que possuem características e necessidades de processo muito peculiares ou que possuem grande impacto no desempenho global e que variam com a localização:
  - ▶ Processos eletro-intensivos, como é o caso da produção de alumínio.
  - ▶ Processos que demandem grande quantidade de água, por exemplo para refrigeração de usinas nucleares.
  - ▶ Processos que necessitam de mão de obra altamente especializada e/ou abundante.
- **Fatores qualitativos:** Fatores que dizem respeito às preferências pessoais das pessoas envolvidas.

O julgamento final para decidir a localização é feito através da análise de uma tabela que reúne os fatores localizacionais considerados e as localidades alternativas. As vantagens relativas aos fatores tangíveis (quantitativos) podem ser traduzidas para valores monetários, enquanto que para fatores qualitativos cabe uma análise mais subjetiva. Segue um exemplo de tabela (Tabela 3.1) retirado de [4].

Localizações Alternativas						
Fatores Tangíveis	Atual	A	B	C	D	E
(1) Transporte do produto acabado						
(2) Transporte de matéria-prima da fonte para a fábrica						
(3) Salários mais encargos pagos a trabalhadores						
(4) Despesas administrativas e financeiras						
(5) Aluguel						
<b>Total Fatores Tangíveis</b>						
<b>Classificação</b>						
Localizações Alternativas						
Fatores Intangíveis	Atual	A	B	C	D	E
(1) Oferta de trabalho						
(2) Produtividade na região						
(3) Atitude da comunidade com relação à indústria						
(4) Ambiente para a administração						

**Tabela 3.1: Tabela de Comparação de Fatores**

**Fonte: Referência [4]**

### **3.2 O Modelo Proposto**

Com base nas características específicas do problema apresentado neste trabalho e as pesquisas realizadas no campo da localização industrial, será proposto um modelo que determine a região mais favorável ao estabelecimento de um *smelter*. As características e peculiaridades foram estudadas e discutidas no capítulo 2, "A Indústria do Alumínio", enquanto que parte da pesquisa realizada sobre localização industrial foi apresentada anteriormente neste capítulo, nas seções 3.1.1 e 3.1.2.

O modelo proposto deve atender a duas exigências básicas: ele deve fornecer um resultado efetivo e ao mesmo tempo deve ser aplicável na prática.

Fornecer um "resultado efetivo" quer dizer que o modelo é capaz de determinar a localização do *smelter* conforme os objetivos estabelecidos para o problema. Ser "aplicável na prática", por sua vez, significa que é possível através da utilização dos recursos e tempo disponíveis, aplicar o modelo ao problema e obter os resultados mencionados anteriormente.

#### **3.2.1. A Escolha do Método**

A "criação" do modelo é na verdade uma adaptação de métodos consagrados do campo da localização industrial para a situação tratada neste trabalho. Deve ser, portanto, escolhido o método mais adequado e que melhor serve ao problema da localização do *smelter*.

A escolha será feita entre os dois métodos apresentados anteriormente no capítulo, o "método dos orçamentos comparados" e os métodos baseados em modelos matemáticos. Estes dois métodos representam maneiras distintas de se tratar problemas de localização e a seleção de um ou outro implicará em sequências diferentes para o trabalho.

A grande maioria dos modelos matemáticos define a localização através da minimização dos custos totais de transporte, sejam eles de produtos ou matérias primas. Um exemplo clássico é o modelo de Weber, apresentado anteriormente neste do capítulo. Desta forma, a aplicação de tais modelos é extremamente útil em problemas cuja distribuição dos transportes é ramificada e os custos envolvidos são significativos. Um exemplo são depósitos de

bebidas, que possuem demanda bastante pulverizada (pontos de venda variados) e produtos de baixo valor agregado.

No caso do *smelter* de alumínio observa-se que a rede de transporte pode ser assumida como uma linha conectando a refinaria de alumina, o *smelter* e o porto de exportação. Isto ocorre por dois motivos. Primeiro, a alumina corresponde a maior parcela dos custos com matéria prima, o que é amplificado nos custos de transporte devido ao baixo valor agregado. Segundo, por que a Alcoa pretende destinar toda a produção do *smelter* para exportação para os grandes centros consumidores mundiais (EUA, Japão, Europa) estando assim a demanda concentrada em um porto. A simplicidade dos transportes torna a construção de um modelo matemático desnecessária e a aplicação de um método prático como o dos orçamentos comparados mais indicada.

Outro fato faz com que o "método dos orçamentos comparados" seja mais apropriado para este caso: algumas características do processo de produção e do produto do *smelter*, o alumínio, restringem fortemente os locais viáveis para o projeto. Estas características são o alto consumo de energia elétrica e o alto volume a ser transportado.

Ao examinar-se a região de estudo, os pontos que podem sediar um *smelter* tendo em vista as duas características mencionadas se reduzem a algumas poucas alternativas locacionais, que podem ser estudadas individualmente e comparadas através do "Método dos Orçamentos Comparados".

### **3.2.2. A Adaptação para o Problema do Trabalho**

A principal diferença entre o problema de localização deste trabalho e os problemas comumente tratados na literatura é a dimensão da área de estudo: toda a América do Sul. Isto torna a aplicação exclusiva de modelos matemáticos impraticável e a aplicação do "método dos orçamentos Comparados" um pouco diferente do que se está habituado a encontrar na bibliografia sobre o assunto.

A grande dimensão coloca o trabalho muito mais voltado à macro-localização, interessada em regiões, do que à micro-localização, que aponta

com exatidão o local onde o projeto deve ser estabelecido. Este aspecto faz com que os resultados obtidos aqui estejam muito mais próximos da maioria das áreas de estudos encontradas em problemas de localização da literatura do que das respostas por eles obtidas.

Tradicionalmente o "método dos orçamentos comparados" busca estimar os custos para a venda de um produto em diferentes localidades e compará-los, obtendo como resposta a alternativa de menor custo. No caso deste trabalho o estudo estratégico da produção e do setor do alumínio desempenha papel de igual importância ao da estimação dos custos. Através desta visão estratégica, a região de estudo é reduzida a algumas poucas áreas mais favoráveis, onde são escolhidas localidades para a estimação dos custos.

A pré-seleção cuidadosa das regiões mais adequadas para o *smelter* é, portanto, fundamental para que o número de localidades para a estimação de custos se torne razoável e para que os locais pré-selecionados sejam aqueles que realmente têm potencial para garantir vantagem competitiva para o *smelter*.

## **Capítulo 4: Implementação do Modelo**

---

## 4. Implementação do Modelo

### 4.1. Pré-seleção de Regiões

Localizar um *smelter* numa região de proporções continentais como a América do Sul pode se tornar uma tarefa extremamente difícil, quase impossível, se não forem adotados critérios que simplifiquem e reduzam o trabalho e esforços necessários para a solução do problema. Deve-se então escolher, com base em justificativas fortes e sustentáveis, pontos pré-selecionados para a aplicação do "método dos orçamentos comparados".

Os pontos pré-selecionados vêm de um exame nas características da produção, da empresa, do mercado e de tudo que for relevante e impactado pela localização. O estudo do problema, desenvolvido no capítulo 2 serve de base para a escolha de áreas pré-selecionadas, que reunem as características mais favoráveis para o *smelter*.

Para exemplificar a colocação acima pode-se pensar em uma usina nuclear a ser localizada em uma determinada região. Este tipo de usina possui algumas características que restringem sua localização e através delas a área de estudo pode ser reduzida significativamente. A refrigeração do reator nuclear demanda quantidades excessivas de água, o que elimina alternativas locacionais que não possuam este insumo em abundância. A localização fica restrita neste caso a margens de rios, represas, lagos, mares, oceanos ou outros locais cuja disponibilidade de água seja farta.

#### 4.1.1 O Fator Energia

A indústria do alumínio possui uma característica extremamente marcante e que certamente influenciará a localização do *smelter*: seu caráter eletrointensivo.

Se examinarmos os custos e impactos da energia elétrica na produção do alumínio tal influência se torna clara. O gráfico a seguir mostra a distribuição média de custos de um *smelter* ocidental<sup>9</sup>.

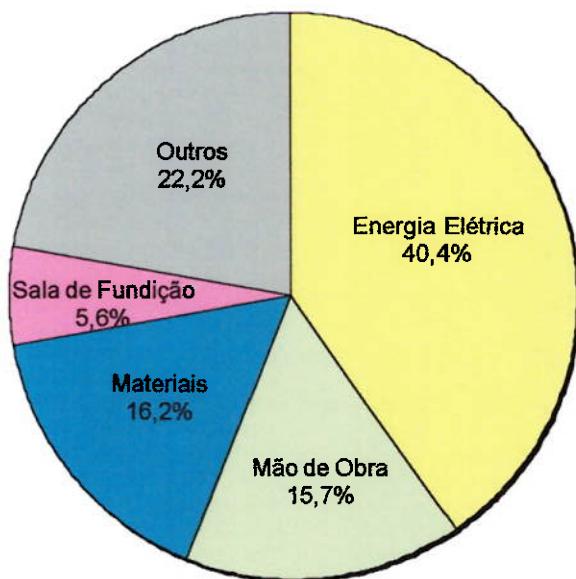
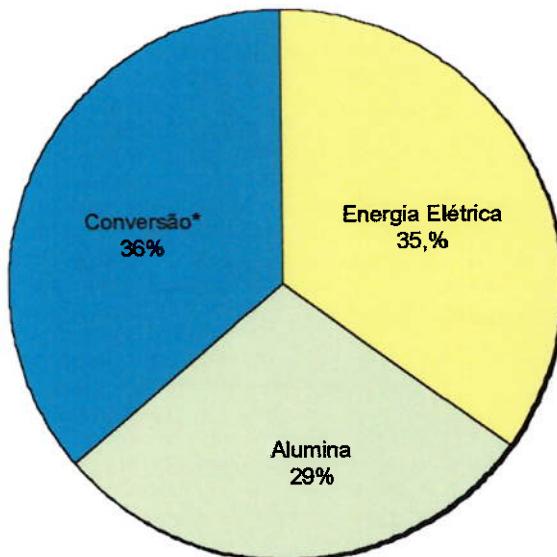


Gráfico 4.1: Distribuição Média de Custos de um Smelter Excluída Alumina

Fonte: Commodities Research Unit

O próximo gráfico mostra também os custos, mas agora especificamente para a unidade da Alcoa em São Luís do Maranhão, Brasil.

<sup>9</sup> Smelters de países ocidentais, do chamado mundo capitalista. Estão excluídos portanto smelters em países socialistas como a ex-União Soviética e a China.



\* Inclui custos fixos, mão de obra e outras matérias primas

Gráfico 4.2: Distribuição de Custos da Unidade de São Luís da Alcoa Alumínio  
Fonte: Alcoa Alumínio

O impacto da energia elétrica na produção do alumínio, como mostram os gráficos, é bastante grande. O Commodities Research Unit Limited de Londres [6] coloca que comparando-se diversas unidades produtivas ao redor do mundo, "excluída a alumina, a energia elétrica é certamente o maior componente de custos de um *smelter*. Além disto é o componente com maior variabilidade juntamente com a mão de obra. O mais interessante, no entanto, é a imensa contribuição que a energia tem sobre a variação total dos custos do *smelter*, resultado de sua alta variabilidade e grande peso nos custos totais. Disto pode-se concluir que a vantagem competitiva na produção primária de alumínio é quase que integralmente devido ao custo da energia elétrica".

A demanda de um *smelter* por energia não é só proporcionalmente significativa, seu valor absoluto também é bastante grande. Um quilograma de alumínio consome em média 15,7 kWh para ser produzido, ou seja, o *smelter* do problema, dimensionado para 200.000 toneladas de metal por ano consumirá cerca de 3.140.000 MWh, o que equivale a geração anual de uma hidroelétrica de porte médio.

A energia também desempenha um papel estratégico além dos custos, já que sua falta prolongada (por algumas horas) resulta na solidificação do

alumínio líquido nas células eletrolíticas, o que por sua vez acarreta em grande perda de tempo e recursos para que o *smelter* volte a operar em regime.

Tendo em vista o imenso impacto nos custos e a exigente demanda por energia de um *smelter* de alumínio pode-se colocar a disponibilidade e estabilidade deste insumo como uma restrição localizacional que será utilizada para pré-selecionar regiões do continente sulamericano.

Em primeiro lugar serão levantadas as características de cada país em relação à energia elétrica para que sejam, em seguida, determinadas as regiões energeticamente favoráveis.

#### *4.1.1.1. Brasil*

O Brasil possui uma capacidade instalada de geração de energia elétrica de 65,2 milhões de quilowatts, sendo que 87% é hidroelétrica (dados de janeiro de 1999). Em 1999 foram gerados 337,4 bilhões de quilowatts hora, dos quais 91% foram em centrais hidroelétricas. O restante da energia elétrica é gerado utilizando-se carvão e gás natural, o último experimentando um crescimento significativo recentemente.

O Brasil enfrenta hoje uma forte crise energética que pode ser explicada pela falta de investimentos no setor e por chuvas insuficientes para recompor os reservatórios de suas hidroelétricas.

A falta dos investimentos necessários, no entanto, é a principal causa da crise no abastecimento de energia. A demanda cresceu rapidamente durante a década de 90, com um consumo em 1999 cerca de 55% maior do que em 1990. A capacidade instalada de geração, entretanto, cresceu apenas 25% no mesmo período.

O governo anunciou recentemente 49 projetos de usinas termelétricas para aumentar a capacidade de geração do país. Estas usinas, movidas a gás, entrariam em operação após a conclusão do gasoduto Brasil-Bolívia. Algumas dificuldades, todavia, atrasam os projetos, por exemplo o fato do gás ser comercializado em dólares Americanos enquanto que a energia é vendida em reais.

Medidas drásticas para reduzir o consumo têm sido tomadas pelo governo brasileiro. Os consumidores tanto industriais como residenciais devem reduzir em 20% o consumo de energia, sob pena de multas e cortes para quem falhar.

A privatização do setor elétrico no Brasil já caminha por vários anos, anteriormente à crise. Após a desvalorização da moeda, em 1999, este processo quase parou e pouco progresso vem acontecendo. A desregulamentação total está prevista para 2006.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	65,20
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	337,44
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	353,70
Preço para indústria (USD/kWh)	0,057 (1998)

Tabela 4.1: O Setor Elétrico no Brasil (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.2. Argentina

A energia elétrica gerada na Argentina vem principalmente de hidroelétricas e usinas movidas a gás natural. Em 1998 o país tinha uma capacidade instalada de 21.8 milhões de megawatts, distribuídos entre usinas movidas por combustíveis fósseis, hidroelétricas e usinas nucleares (Gráfico 4.3). A geração no mesmo ano alcançou 75,2 bilhões de quilowatts hora (Gráfico 4.4).

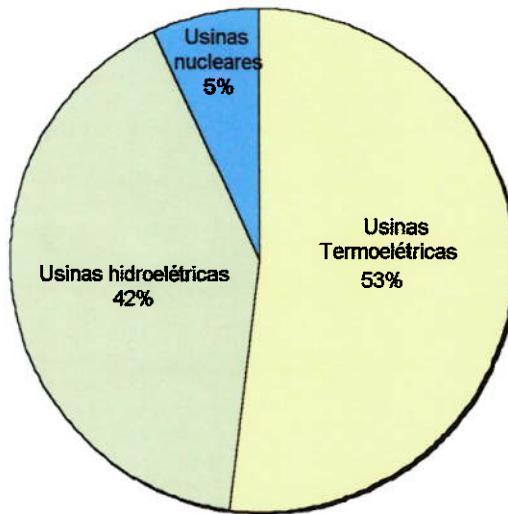


Gráfico 4.3: Distribuição da Capacidade Instalada de Geração

Fonte: Elaborado pelo autor

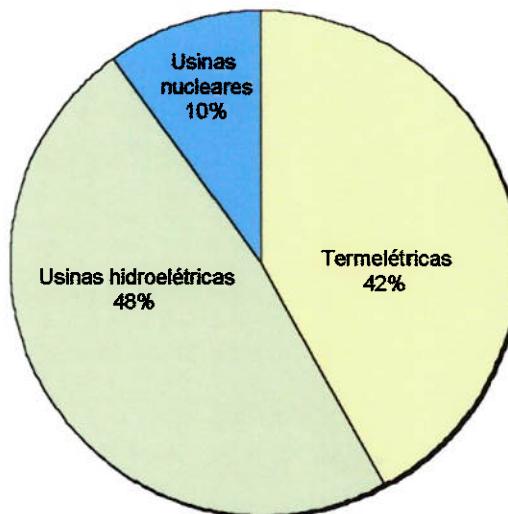


Gráfico 4.4: Distribuição da Geração de Energia Elétrica

Fonte: Elaborado pelo autor

A Argentina possui um dos mercados de energia mais desregulamentados e competitivos da América do Sul. Desde 1991, o governo iniciou um programa intensivo de privatizações surgindo um mercado aberto de eletricidade que atraiu investimentos estrangeiros e projetos. Hoje, a geração satisfaz a demanda doméstica.

O sistema neste país é bastante estável e controlado pelo governo através do Ente Regulador de la Energia Elétrica (ENRE). O sistema argentino está conectado às redes brasileiras, uruguais e chilenas, para onde parte da energia é exportada.

Alguns projetos de ampliação da capacidade de geração estão em andamento, principalmente hidroelétricas em parceria com o Paraguai. Tais projetos adicionariam cerca de 5,000 Megawatts ao parque gerador argentino.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	23,25
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	77,08
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	77,10
Preço para indústria (USD/kWh)	0,079

Tabela 4.2: O Setor Elétrico na Argentina (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.3 Chile

Em 1999 o Chile consumiu aproximadamente 38.1 bilhões de quilowatts hora, sendo que cerca de 35% desta energia foi gerada em usinas hidroelétricas.

Entre 1997 e 1999 uma seca severa atingiu o Chile, o que resultou em freqüentes apagões em Santiago, a capital, de novembro de 1998 e maio de 1999. Isto mostrou que o sistema elétrico chileno era suscetível a falhas e gerou um movimento para torná-lo menos dependente de hidrogeração. Hoje, novos projetos são baseados principalmente em geração através de gás natural.

O setor elétrico foi completamente privatizado na década de noventa, com participação intensa de capital espanhol e mais recentemente, americano.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	8,39
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	38,09
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	35,40
Preço para indústria (USD/kWh)	0,050

Tabela 4.3: O Setor Elétrico no Chile (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.4 Uruguai

A capacidade de geração de energia elétrica do Uruguai é de aproximadamente 2,2 Gigawatts, oriunda principalmente das quatro usinas hidroelétricas do país. O restante é gerado em termoelétricas movidas a óleo combustível, diesel, carvão e madeira.

Em 1999 e 2000, energia teve de ser importada devido a uma seca que reduziu sensivelmente a capacidade de geração das hidroelétricas. O aumento nos custos, no entanto, foi absorvido pela entidade que controla a eletricidade no país, a UTE.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	2,17
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	5,70
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	5,90
Preço para indústria (USD/kWh)	0,070

Tabela 4.4: O Setor Elétrico no Uruguai (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.5 Paraguai

O Paraguai possui um dos maiores potenciais hidroelétricos por habitante do mundo e suas atuais usinas geradoras mais do satisfazem as necessidades domésticas (Gráfico 4.5).

O país está envolvido em dois grandes projetos hidroelétricos e um terceiro está proposto. A usina de Itaipu, em associação com o Brasil, é a

maior barragem hidroelétrica do mundo em operação, com uma capacidade instalada de 12.600 Megawatts. O Brasil compra quase toda a energia gerada.

Juntamente com a Argentina, o Paraguai possui a usina de Yacyreta, com capacidade instalada de 2.700 Megawatts. Atualmente a usina opera a 60% da capacidade.

Outra hidroelétrica está planejada, novamente em parceria com a Argentina. Trata-se da usina de Corpus Cristi, com capacidade prevista de 3.000 Megawatts. A continuidade do projeto depende da habilidade dos dois países em superar as crises políticas e econômicas internas.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	7,48
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	51,55
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	1,90
Preço para indústria (USD/kWh)	0,033

Tabela 4.5: O Setor Elétrico no Paraguai (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.6. Bolívia

A produção de energia elétrica da Bolívia é extremamente pequena, corresponde a cerca de 1% da geração Brasileira ou pouco mais do que 3.5 bilhões de quilowatts hora.

A geração se distribui principalmente entre termoelétricas e hidroelétricas. As primeiras, impulsionadas pela excedente produção interna de gás natural, garantem 57% do total gerado (1999). As 8 hidroelétricas fornecem 42% da energia e o potencial hídrico do país ainda não foi totalmente explorado.

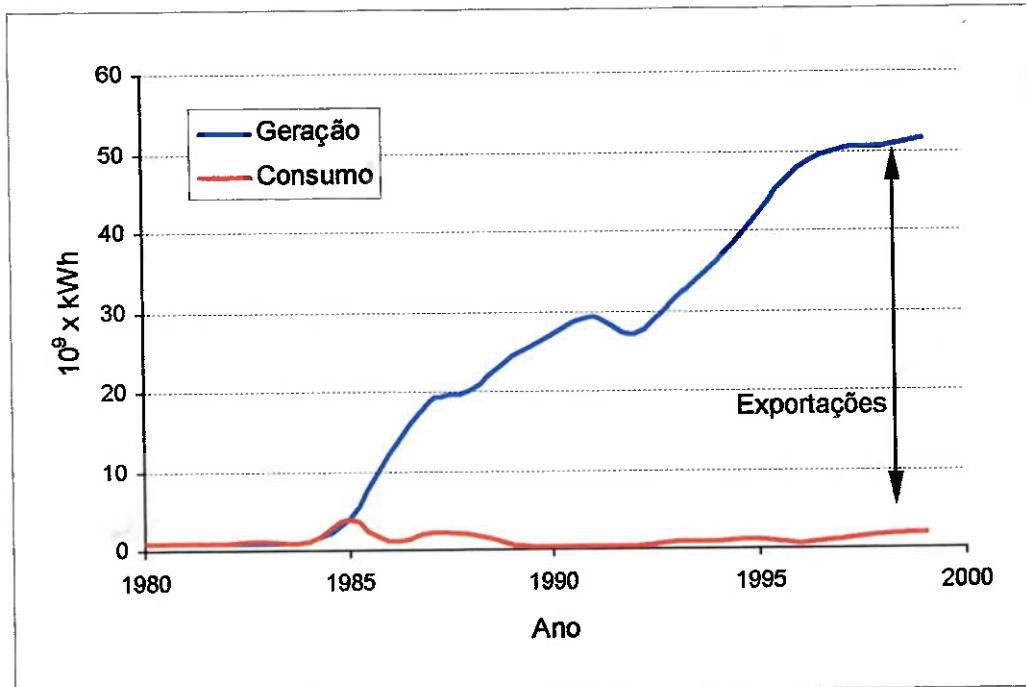


Gráfico 4.5 – Geração e Consumo de Eletricidade no Paraguai, 1980 – 1998

Fonte: Elaborado pelo autor

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	1,043
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	3,62
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	3,40
Preço para indústria (USD/kWh)	0,070

Tabela 4.6: O Setor Elétrico na Bolívia (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.7. Peru

O Peru tem cerca de 5.5 milhões de quilowatts de capacidade de geração instalada, sendo que metade deste número provém de usinas hidroelétricas e o restante de termoelétricas movidas a diesel, óleo combustível e carvão.

A taxa de eletrificação do país, que representa a porcentagem de habitantes com acesso a energia elétrica, é baixa e está em cerca de 75%. Isto mostra espaço para crescimento do setor, recentemente aberto para investimentos privados.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	5,51
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	18,88
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	17,60
Preço para indústria (USD/kWh)	0,055

Tabela 4.7: O Setor Elétrico no Peru (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.8. Equador

O Equador possui uma capacidade de geração de energia elétrica instalada de 3,12 milhões de quilowatts. Em 1999 foram produzidos cerca de 10 bilhões de quilowatts hora, sendo que 73% deste total foram gerados em hidrelétricas e o restante em termoelétricas. Metade da energia é gerada em uma única hidroelétrica, Paute.

A demanda equatoriana por energia vem experimentando um acelerado crescimento que não tem sido acompanhado por aumentos da capacidade de geração, transmissão e da infraestrutura de distribuição. Diversas partes do sistema de transmissão operam em capacidade de pico na maioria do tempo. Além disto, os recursos para manutenção do sistema são escassos, o que torna a operação bastante precária.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	3,73
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	10,06
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	9,40
Preço para indústria (USD/kWh)	0,037

Tabela 4.8: O Setor Elétrico no Equador (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.9 Colômbia

A capacidade de geração colombiana é de aproximadamente 12.8 gigawatts, sendo que 70% é hidroelétrica. Em 1992 uma seca severa

impossibilitou as usinas se produzirem energia suficiente para satisfazer a demanda e um racionamento foi implantado. Os planos para tornar o setor menos dependente da hidrogeração incluem a construção de termoelétricas movidas a gás natural e carvão.

Atualmente o setor elétrico colombiano enfrenta sérios desafios devido a ação terrorista de grupos separatistas rebeldes, que deterioraram a infraestrutura e ocasionam aumentos exagerados nos preços. Diversas redes de transmissão foram destruídas, dividindo o sistema em partes e sem possibilidade de reparos. Nas áreas mais atingidas pelos ataques as distribuidoras não conseguem pagar as geradoras e estão a beira do colapso. No início de março de 2001 o governo anunciou que o país pode enfrentar futuros racionamentos.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	12,82
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	43,57
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	40,50
Preço para indústria (USD/kWh)	0,081

Tabela 4.9: O Setor Elétrico na Colômbia (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.10. Venezuela

Na América Latina, a Venezuela possui um dos mais altos índices de eletrificação, cerca de 90%, e é o país com mais alto índice de utilização per capita de energia elétrica.

A capacidade instalada é de cerca de 21.5 gigawatts e em 1999 foram gerados 81.2 bilhões de quilowatts hora, 68% em usinas hidroelétricas e o restante em termoelétricas. O crescimento da demanda nos próximos anos será atendido por novos projetos de termoelétricas movidas a óleo combustível e gás natural e mais usinas hidroelétricas. A proporção entre termogeração e hidrogeração, entretanto, deverá ser mantida.

A Venezuela normalmente gera energia elétrica em excesso, que é exportada para a Colômbia e futuramente, após a interligação dos sistemas,

para o Brasil. Os preços são controlados e subsidiados pelo governo e estão bem abaixo do praticado em mercados vizinhos.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	21,46
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	81,21
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	75,50
Preço para indústria (USD/kWh)	0,026

Tabela 4.10: O Setor Elétrico na Venezuela (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.11. Guianas e Suriname

Na Guiana e no Suriname atualmente se localizam uma refinaria de alumina e um *smelter* [13]. Este fato pode levar à conclusão de que os dois países são locais viáveis para novos empreendimentos do setor, o que pode não ser verdade dependendo das características do projeto.

Estes três países, localizados na região norte do continente, possuem um sistema elétrico com capacidade bastante pequena quando comparados com as demais nações sulamericanas e certamente não poderiam abrigar um novo *smelter* das proporções do tratado por este trabalho sem que houvesse um aumento da capacidade de geração.

Como o problema aqui discutido trata de um *smelter* independente, que comprará energia do sistema onde for localizado, os três países deixam de ser uma opção.

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	0,11
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	0,45
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	0,40
Preço para indústria (USD/kWh)	0,085

Tabela 4.11: O Setor Elétrico na Guiana (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	0,31
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	1,93
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	1,80
Preço para indústria (USD/kWh)	0,131

Tabela 4.12: O Setor Elétrico no Suriname (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

Capacidade de geração instalada (1000 MW)	0,17
Geração (10 <sup>9</sup> KWh)	0,44
Consumo (10 <sup>9</sup> KWh)	0,40
Preço para indústria (USD/kWh)	N.D.

N.D.: Não disponível

Tabela 4.13: O Setor Elétrico na Guiana Francesa (1999)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.12 Avaliação dos Países

A partir dos dados levantados sobre o setor elétrico dos países sul-americanos serão escolhidos os que possuírem características favoráveis para a implantação do *smelter*. Com isso, pretende-se eliminar aqueles que não satisfazem as exigências quanto a disponibilidade e estabilidade de energia. Os custos serão considerados posteriormente, em conjunto com os outros componentes como transporte e matéria prima, somente para as localidades pré-selecionadas.

Para comparar a disponibilidade e estabilidade da energia elétrica nos países foi criado um questionário. Os itens se referem a pontos considerados importantes para caracterizar o setor elétrico do país e estão explicados abaixo.

a) A geração satisfaz a demanda doméstica? (Peso 3)

*O país será classificado de acordo com sua capacidade de suprir a demanda já existente. Os graus são:*

- ▶ 2 – Supre todo o tempo e sistematicamente gera excedente
  - ▶ 1 – Supre todo o tempo sem excedente significativo
  - ▶ 0 – Falha em alguns momentos ou não supre
- b) O sistema está interligado com os países vizinhos para importação/exportação? (Peso 1)  
*Este item avalia a habilidade do país de utilizar seus vizinhos para melhorar seu setor energético. Os graus são:*
- ▶ 2 – Sim
  - ▶ 0 – Não
- c) O País enfrenta racionamento ou crise energética? (Peso 3)  
*Os graus são:*
- ▶ 0 – Não
  - ▶ -2 – Sim (negativo)
- d) A geração é diversificada, ou seja, não depende exclusivamente de algum recurso (gás natural, óleo combustível, carvão, represas, combustível nuclear, etc.)? (Peso 1)  
*Este item pretende avaliar se o setor elétrico está muito exposto a crises de abastecimento de combustíveis ou fenômenos naturais. Os graus são:*
- ▶ 2 – Nenhum tipo de geração ultrapassa 60% da capacidade
  - ▶ 1 – Nenhum tipo de geração ultrapassa 80% da capacidade
  - ▶ 0 – Demais casos
- e) Existem projetos concretos de modernização e aumento da capacidade do setor elétrico para acompanhar eventuais crescimentos de demanda? (Peso 2)  
*Este item avalia se o setor não caminha para a falta de energia – Os graus são:*
- ▶ 2 – Existem projetos suficientes e com alta probabilidade de implantação

- ▶ 1 – Existem projetos prováveis
- ▶ 0 – Existem projetos mas são improváveis ou não existem projetos.

A Tabela 4.14 a seguir traz a aplicação do questionário:

	Brasil	Argentina	Chile	Uruguai	Paraguai	Bolívia	Equador
A geração satisfaz a demanda doméstica?	0	1	1	1	2	1	1
O sistema está interligado com os países vizinhos para importação/exportação?	2	2	2	2	2	0	2
O País enfrenta racionalamento ou crise energética?	-2	0	0	0	0	0	-2
A geração é diversificada, ou seja, não depende exclusivamente de algum recurso?	0	2	2	1	0	2	1
Existem projetos concretos de modernização e aumento da capacidade do setor elétrico para acompanhar eventuais crescimentos de demanda?	2	2	2	2	1	0	

Tabela 4.14: Questionário para Comparação do Setor Elétrico nos Países Sul-Americanos

Fonte: Elaborado pelo autor

	Peru	Colômbia	Venezuela	Guiana	Suriname	Guiana Francesa
A geração satisfaz a demanda doméstica?	1	0	2	NP	NP	NP
O sistema está interligado com os países vizinhos para importação/exportação?	2	2	2	NP	NP	NP
O País enfrenta racionamento ou crise energética?	0	-2	0	NP	NP	NP
A geração é diversificada, ou seja, não depende exclusivamente de algum recurso?	2	1	1	NP	NP	NP
Existem projetos concretos de modernização e aumento da capacidade do setor elétrico para acompanhar eventuais crescimentos de demanda?	0	0	2	NP	NP	NP

NP = Não pesquisado

Tabela 4.15: Questionário para Comparação do Setor Elétrico nos Países Sul-Americanos (continuação)

Fonte: Elaborado pelo autor

A pontuação de cada país consiste na somatória de suas notas no questionário multiplicadas pelos pesos respectivos. A função dos pesos é garantir que a importância dos itens seja levada em consideração. Os resultados estão na Tabela 4.16 a seguir.

	País	Pontuação
1	Venezuela	13
2	Paraguai	12
3	Chile	11
4	Argentina	10
5	Uruguai	10
6	Bolívia	7
7	Peru	7
8	Brasil	0
9	Equador	-1
10	Colômbia	-3
11	Guiana	NP
12	Suriname	NP
13	Guiana Francesa	NP

NP = Não pesquisado

Tabela 4.16: Pontuação Final no Questionário

Fonte: Elaborado pelo autor

Através dos resultados acima podem ser destacados os países com situação do setor elétrico mais favorável à implantação de uma planta eletrointensiva como um *smelter* de alumínio. Os países escolhidos foram a

Venezuela, o Paraguai, o Chile e a Argentina. O Uruguai foi desconsiderado porque, apesar da alta pontuação, possui uma capacidade de geração instalada pequena se comparada com os escolhidos, que poderia não ser suficiente para suprir com segurança o *smelter*.

Após esta etapa, a área de estudo se restringe às áreas coloridas do mapa abaixo (Figura 4.1):



**Figura 4.1: Países Pré-Selecionados**

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2. O Fator Transporte

Além da exigente demanda por energia, outra característica do processo produtivo do alumínio restringe as localidades onde o estabelecimento de um *smelter* é possível: O alto volume transportado.

Cerca de 2 toneladas de alumina são necessárias para a fabricação de uma de alumínio, o que torna necessário o transporte anual de cerca de 400.000 toneladas de alumina e 200.000 toneladas de alumínio para o *smelter* considerado neste trabalho.

Este volume atrai de maneira bastante forte a localização para regiões portuárias, onde o deslocamento de material e produto seria minimizado. Além de áreas portuárias, localizações próximas a refinarias de alumina são atrativas, mesmo que se encontrem no interior do continente.

A Figura 4.2 mostra a localização das refinarias sul-americanas.

O Paraguai, apesar de apresentar um setor elétrico capaz de suprir a demanda de um *smelter*, não possui uma posição geográfica favorável. Não existem portos no país, uma vez que não há saída para o mar e também não existem refinarias de alumina suficientemente próximas.

Para que o transporte de alumina para um *smelter* no Paraguai fosse viável seria necessária uma infraestrutura dedicada, composta de meios apropriados como hidrovias e ferrovias. Mesmo assim, um estudo detalhado seria necessário para avaliar a viabilidade econômica desta rede de transporte.

## América do Sul



Figura 4.2: Refinarias de Alumina Sul-Americanas

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez que esta rede não existe, o Paraguai deixa de ser uma opção para a localização do *smelter* e as alternativas passam a ser apenas a Venezuela, o Chile e a Argentina, ambos dotados de portos capazes de receber a alumina.

### 4.1.3. A Escolha das Localidades

A área de estudo está restrita à região litorânea dos países selecionados e agora devem ser apontadas as localidades que serão comparadas para a determinação da localização do *smelter*.

Dentro de um país, diferentes localizações provavelmente possuem características tanto no campo quantitativo quanto no campo qualitativo que implicam em diferentes graus de vantagem competitiva. Estas variações, no entanto, não serão consideradas pois acredita-se que uma vez determinada a região mais favorável dentro do país, as características de alternativas locacionais dentro dela não representam variação significativa se comparadas às variações encontradas em relação a outros países.

Desta forma, será escolhida uma alternativa locacional para cada país, dentro da região considerada mais favorável sob os mesmos aspectos da pré-seleção. Estes fatores são a energia e a logística necessárias.

Quanto a energia, o problema está em escolher uma região no país onde seja possível acessar o sistema elétrico e retirar a quantidade necessária de energia. Isto é necessário porque em alguns países a rede de distribuição está dividida e em partes, normalmente regiões remotas, a oferta não corresponde ao que foi identificado anteriormente nos estudos.

Quanto aos transportes, o porto escolhido deve ser estruturado o suficiente para acolher com o menor investimento possível por parte da Alcoa as operações de carga e descarga de navios, além do movimento entre o *smelter* e o porto.

Para a alumina é necessário um movimento mensal de pouco mais de 33.000 toneladas do produto, uma vez que o consumo anual é de cerca de 400.000 toneladas. Como parte do produto é perdida durante o processo, parte é inutilizada durante a armazenagem (empedramento) e parte é contaminada por intempéries (chuva, neve, etc.) estima-se que o fornecimento mensal deva ser de 35.000 toneladas.

Para minimizar os custos com transporte, o suprimento deve ser feito numa única viagem. O navio para esta tarefa deve ser do tipo *bulk carrier* (graneleiro) com capacidade para 35.000 toneladas de alumina (35.000 DWT). O navio deve ainda estar equipado com escotilhas automáticas para proteger a alumina de chuvas durante a descarga.

O calado do porto deve ser de no mínimo 10,5 m para abrigar o navio carregado. Para a descarga, o equipamento recomendado é um *ship unloader* mecânico, que suga a alumina dos porões e assim reduz sensivelmente o tempo de trabalho. O *ship unloader* deve estar conectado a um silo com capacidade entre 40.000 e 45.000 toneladas para armazenar a alumina. O silo, por sua vez, se conecta à esteira que conduz a matéria prima para o *smelter*. Estes equipamentos fazem parte dos investimentos necessário à operação do *smelter*.

Para efetuar o embarque dos produtos acabados os requisitos do porto são bem menores. O alumínio primário é comercializado em lingotes, que podem ser de 50 libras ou 770 libras. Os primeiros são agrupados em amarrados com 49 peças, já os lingotes maiores são transportados sozinhos, a granel.

O navio indicado para efetuar o transporte pode ser do tipo *Box Shaped Open Head* ou do tipo *General Cargo* (carga geral). Para agilizar a carga e a descarga, o navio deve possuir guindastes próprios.

#### 4.1.3.1 Argentina

O litoral argentino se localiza na parte leste do país, no Oceano Atlântico. O litoral sul do país possui alguns inconvenientes que o tornam pouco propício à instalação do *smelter*. Esta região, conhecida como Patagônia, é pouco habitada, limitando a oferta de mão de obra e sofre com invernos rigorosos. Além disto, a Patagônia é uma área extremamente rica em belezas naturais, com uma fauna marítima muito diversificada e paisagens únicas no mundo. Este fato certamente significará grandes empecilhos ambientais em relação a construção do *smelter*.

Por isto, visando uma disponibilidade maior de recursos (energia, mão de obra e infraestrutura) e a ausência de grandes restrições e possíveis litígios ambientais, foi escolhido o complexo portuário de Baía Blanca [15], localizado como mostra a Figura 4.3.



Figura 4.3: Localização do Porto de Baía Blanca

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3.1 Chile

No Chile, o sistema de distribuição e geração de energia elétrica está dividido em 4 redes distintas: a rede central que serve 90% da população, a rede norte que serve principalmente minas e as redes de Aisén e Magallanes, localizadas no sul do país e que servem áreas remotas que correspondem a cerca de 1% da capacidade de geração. O smelter se localizará dentro da malha central, mais robusta, numa região onde a oferta de mão de obra é consideravelmente maior assim como a infraestrutura logística.

Dentro desta área central, existem diversos portos distribuídos pela costa. O porto escolhido, que satisfaz as exigências e onde o terminal do smelter pode ser instalado é o de Talcahuano San Vicente [15] (Figura 4.4), próximo à cidade de Concepción.



Figura 4.4: Localização do Porto de Talcahuano San Vicente

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.3.3. Venezuela

O local escolhido na Venezuela é um dos principais portos do país e que certamente tem a capacidade de lidar com os transportes e movimentações envolvidas, o *Puerto Cabello* [15].

Além de ser um ótimo local para se instalar o terminal do *smelter*, o Puerto Cabello está localizado em uma região industrial, com oferta de mão de obra e acesso ao sistema elétrico. A Figura 4.5 ilustra a localização do porto.



**Figura 4.5: Localização do Puerto Cabello**

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### **4.2 Avaliação dos Fatores Tangíveis (Quantitativos)**

O método cosistirá na análise das despesas previstas para cada localidade escolhida anteriormente. As despesas serão calculadas para o volume desejado de 200.000 toneladas de metal por ano, o que poderá trazer diferenças devido a escala.

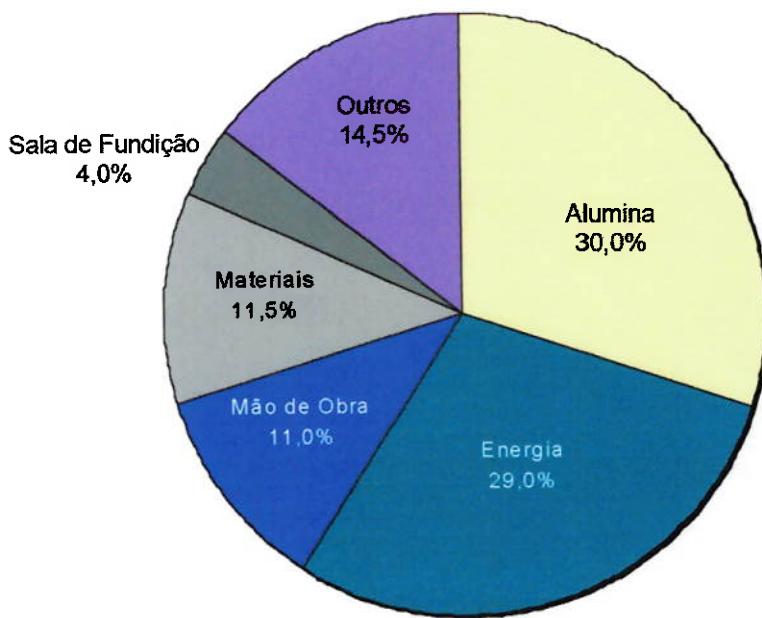


Gráfico 4.6: Distribuição de Custos de um Smelter Médio

Fonte: Referência [6]

Os fatores tangíveis que serão utilizados são aqueles que impactam mais os custos da tonelada do alumínio (Tabela 4.17). O Gráfico 4.6, mostrado acima, fornece esta distribuição de custos em que se baseia a escolha dos fatores, sendo uma média de diversos smelters do chamado antigo mundo capitalista pesquisados pelo Commodities Research Unit [6].

1	Custos com Alumina
2	Custos com Energia Elétrica
3	Custos com Mão de Obra
4	Custos com Transporte de Alumínio

Tabela 4.17: Lista dos Fatores Tangíveis Considerados

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que foram desconsiderados os custos com "materiais", que dizem respeito a outras matérias primas (anodos, fluoreto, etc.). Isto ocorre pela dificuldade de desagregar estes custos e porque é razoável assumir que a rede de fornecimento destas outras matérias primas é suficientemente grande

e diversificada para que quaisquer vantagens devido à localização sejam minimizadas.

O quarto fator, "custos com transporte de alumínio", não aparece na distribuição de custos de produção porque refere-se a um gasto com o produto acabado que será absorvido pela Alcoa. Desta forma, considerando que a Alcoa entregará o produto no porto de destino (preço CIF<sup>10</sup>), um *smelter* localizado em um ponto estratégico em relação à demanda traria vantagem em custos para a empresa. O mecanismo é simples: se dois *smelters* estão vendendo para um mesmo mercado onde o preço praticado é X, e em um o frete até o destino é mais alto das duas uma: ou a margem da empresa será reduzida caso ela arque com os custos ou o comprador dará preferência pelo outro *smelter*. Para comparar diversas localidades será assumida a primeira opção.

#### **4.2.1 Energia**

O cálculo do custo da energia para as três alternativas locacionais é bastante simples. O preço para a indústria da energia elétrica para Venezuela, Chile e Argentina está na Tabela 4.18.

O grande consumo de energia elétrica possibilita negociações com os governos e distribuidoras locais para a utilização de uma tarifa menor do que a praticada no mercado em geral ou *spot*<sup>11</sup>. A determinação destes descontos sobre o preço normal não é fácil, pois estão envolvidos diversos fatores subjetivos, sociais e de relacionamento. Para aproximar os valores que serão praticados para a compra de energia para o *smelter* será utilizado o preço obtido pela Alcoa em sua unidade de Poços de Caldas devido aos esforços negociais empregados junto à distribuidora. A Tabela 4.19 apresenta a relação entre o preço contratado e o preço da energia para compras *spot*.

---

<sup>10</sup> CIF – Cost, Insurance and Freight. O preço CIF é o preço de um produto para entrega no porto de destino, ou seja, incluindo, além do próprio produto, os custos com frete e seguro.

<sup>11</sup> Refere-se a compras realizadas de maneira pontual, sem contratos de fornecimento de longo prazo.

País	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>Argentina</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.079	0.079
<b>Barbados</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.166	0.161
<b>Bolívia</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.074	0.070
<b>Brasil</b>	0.076	0.057	0.054	0.051	0.057	n.d.
<b>Chile</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.059	0.050
<b>Colômbia</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.085	0.081
<b>Costa Rica</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.080	0.076
<b>Cuba</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.067	0.060
<b>Rep. Dominicana</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.118	0.113
<b>Equador</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.051	0.037
<b>El Salvador</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.111	0.111
<b>Guatemala</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.091	0.079
<b>Gauiana</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.099	0.085
<b>Haití</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.102	0.105
<b>Honduras</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.090	0.089
<b>Jamaica</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.102	0.102
<b>Nicarágua</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.121	0.117
<b>Panamá</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.099	0.099
<b>Paraguai</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.038	0.033
<b>Peru</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.056	0.055
<b>Suriname</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.131	0.131
<b>Uruguai</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.076	0.070
<b>Venezuela</b>	0.068	0.061	0.033	n.d.	0.029	0.026

**Tabela 4.18: Preço da Energia para a Indústria (US\$/KWh)**

**Fonte:** DOE – Departamento de Energia do Governo Americano, 2000

### Preço da energia em US\$/MWh

	1996	1997	1998	Média
<b>Preço Alcoa</b>	36.00	33.00	30.00	<b>33.00</b>
<b>Mercado Spot</b>	54.00	51.00	57.00	<b>54.00</b>
<b>Relação</b>	67%	65%	53%	<b>61%</b>

O preço Alcoa se refere ao praticado na unidade de Poços de Caldas (MG)

**Tabela 4.19: Preço Negociado versus Preço de Mercado**

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O preço da energia em cada país dever ser corrigido pela relação média exposta acima. É importante destacar que a vantagem relativa entre os países no aspecto da energia não é alterada por esta correção. Este instrumento foi empregado para haja uma melhor aproximação dos custos por tonelada. A

Tabela 4.20 a seguir apresenta os preços corrigidos para a energia nos três países.

**Preço da energia em US\$/MWh**

<u>Argentina</u>	<u>48.28</u>
<u>Chile</u>	<u>30.56</u>
<u>Venezuela</u>	<u>15.89</u>

**Tabela 4.20: Preço da Energia Corrigido para os Países Selecionados**

Fonte: Elaborado pelo autor

O cálculo do custo com energia por tonelada é simplesmente a multiplicação do consumo médio pelo preço. A tabela a seguir traz os valores considerados e os resultados.

Consumo médio (MWh/Tonelada) **15.7**

	US\$/MWh	Custo US\$/Ton
Argentina	48.28	757.96
Chile	30.56	479.72
Venezuela	15.89	249.46

**Tabela 4.21: Cálculo dos Custos com Energia por Tonelada de Alumínio**

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes resultados mostram uma vantagem indiscutível, sob o aspecto da energia, da Venezuela. O Chile apresenta um custo com nível semelhante ao de outros *smelters* da Alcoa, por exemplo o de Poços de Caldas (MG), enquanto que a Argentina mostra-se pouco competitiva.

#### 4.2.2 Alumina

Outro componente significativo nos custos da tonelada do alumínio é a alumina. Como descrito anteriormente a alumina é a principal matéria prima do processo produtivo pois contém os íons  $Al^{3+}$  que dão origem ao metal. Cerca de duas toneladas de alumina são utilizadas para a produção de uma de alumínio.

Diversos tipos de alumina estão disponíveis no mercado para funções variadas, principalmente na indústria química. Para produção de alumínio é utilizada a alumina *smelt grade* com *mash*<sup>12</sup> 325, própria para a eletrólise nas cubas eletrolíticas.

O mercado fornecedor deste insumo está espalhado por todo o mundo mas a principal referência são as refinarias gigantes da Austrália. O Figura 4.6 mostra a localização das refinarias e sua capacidade, em milhares de toneladas.

O preço da tonelada não varia significativamente entre fornecedores quando se trata de alumina com as mesmas especificações. Este valor está em torno de US\$ 140,00 a tonelada, ditado principalmente pelas refinarias australianas.

Para cada um dos locais selecionados nos países deve ser escolhida uma fonte de alumina. Como o preço do produto é considerado constante, a escolha é devido a posição geográfica, a qualidade do produto e a disponibilidade das quantidades.

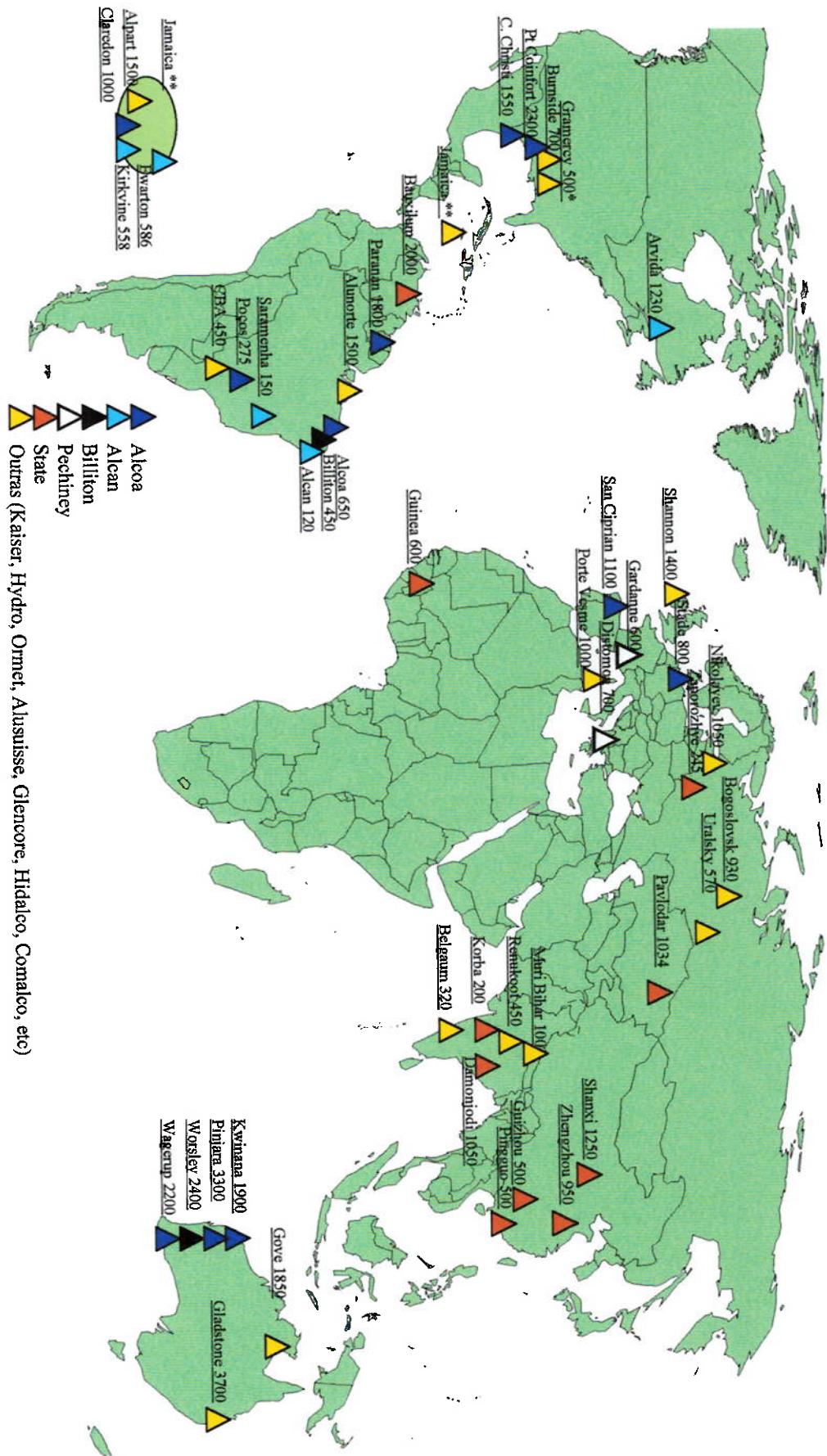
A posição geográfica deve ser escolhida de forma que sejam minimizados os custos de transporte, uma vez que a alumina será comprada FOB<sup>13</sup>.

A qualidade é importante, pois variações na composição da alumina levam a um menor ou maior consumo nas cubas. Além disto, apenas fornecedores capazes de produzir alumina *smelt grade* devem ser considerados.

---

<sup>12</sup>O *mash* indica a granulometria da alumina. O *mash* 325 é o que proporciona maior rendimento no smelter

<sup>13</sup>FOB – Free on Board, ou seja, o produto é entregue no porto de saída e os custos de transporte são do comprador.



**Figura 4.6: Possíveis Fontes Fornecedoras de Alumina no Mundo**

Fonte: Elaborado pelo autor.

A disponibilidade restringe a compra a fornecedores que possam vender para o *smelter*. Em alguns casos a produção de uma refinaria pode ser inteiramente dedicada a *smelters* verticalizados ou estar comprometida com contratos de longo prazo.

Apesar da independência, deve ser dada prioridade para refinarias da própria Alcoa pois o objetivo do *smelter* é servir à companhia como um todo e não apenas a si mesmo. Esta preferência só deve ser ignorada caso as vantagens obtidas pela utilização de um fornecedor externo forem significativamente maiores.

Dados os critérios, foram determinadas as principais fontes para cada país (Tabela 4.22).

Smelter	Fornecedor	Refinaria	País	Empresa
Argentina	<i>Principal</i>	São Luis	Brasil	Alcoa
	<i>Secundário</i>	Paranan	Suriname	Alcoa
Chile	<i>Principal</i>	São Luís	Brasil	Alcoa
	<i>Secundário</i>	Wagerup	Austrália	Alcoa
Venezuela	<i>Principal</i>	Paranan	Suriname	Alcoa
	<i>Secundário</i>	São Luis	Brasil	Alcoa

Tabela 4.22: Fornecedores de Alumina para as Diferentes Alternativas Locacionais

Fonte: Elaborado pelo autor

Algumas escolhas são bastante óbvias, enquanto que outras podem parecer pouco intuitivas. No caso da Argentina, a escolha se deu porque todos os fatores (frete, qualidade e disponibilidade) apontaram para a refinaria da Alcoa no norte do Brasil, em São Luís. A fonte secundária é a refinaria de Paranan, também da Alcoa, cujo frete é um pouco maior. Apesar de mais próximas, as refinarias situadas no interior do Brasil não foram escolhidas porque sua produção já tem destino e também porque seria necessário muito transporte terrestre para levá-las até a Argentina, o que seria economicamente inviável para os volumes considerados.

Para o Chile e para a Argentina, comprar alumina das refinarias brasileiras é também vantajoso pois alguns benefícios podem ser conseguidos devido ao Mercosul. Esses benefícios, no entanto, não foram quantificados neste trabalho por serem necessários dados muito específicos sobre quantidades, datas, periodicidade, entre outros. Mesmo assim, de maneira qualitativa, tais vantagens foram consideradas.

Os fornecedores para o Chile poderiam se situar na América do Sul ou na Austrália, com qualidade, disponibilidade e custos de transporte (Tabela 4.23) parecidos. A escolha portanto foi utilizar a refinaria da Alcoa em São Luís como primeira opção e assim aproveitar os benefícios do Mercosul e selecionar uma grande refinaria da Alcoa na Austrália como segunda opção, garantindo o volume necessário.

**Custo com a alumina estivada no porto de destino (US\$/ton)**

	Origem	Transporte	Alumina	Total
<b>Argentina</b>	São Luís (BRA)	8.50	140.00	148.50
	Paranan (SUR)	9.50	140.00	149.50
<b>Chile</b>	São Luís (BRA)	12.00	140.00	152.00
	Wagerup (AUS)	13.00	140.00	153.00
<b>Venezuela</b>	Paranan (SUR)	6.00	140.00	146.00
	São Luís (BRA)	7.00	140.00	147.00

**Tabela 4.23: Custos com Alumina**

Fonte: Elaborado pelo autor

A Venezuela está próxima de diversas refinarias e o custo para transportar a matéria prima se torna sensivelmente menor do que para as outras alternativas. Num primeiro momento a escolha da refinaria Bauxilum, na própria Venezuela, pareceu a mais sensata, entretanto dois motivos levaram à escolha de outras refinarias: os custos de transporte estimados não são significativamente menores do que os obtidos com a alumina do Brasil ou Suriname porque o *smelter* não se localizará próximo o suficiente da refinaria venezuelana de forma que seja possível a utilização de conexão direta através

de esteiras. Além disto a preferência, como dito, é para fornecimento inter-companhia, da própria Alcoa.

As estimativas apresentadas na Tabela 4.23 foram elaboradas pela área de logística da Alcoa no escritório central em São Paulo a pedido do autor. Apesar de terem sido feitas com cuidado, tais estimativas certamente não coincidiriam com os custos reais caso o projeto do *smelter* se concretizasse devido a impossibilidade de detalhar a operação num estágio tão inicial quanto o tratado neste trabalho.

Outro fato que merece atenção é a não linearidade entre o custo com transporte e a distância. Certamente se estivesse sendo utilizado um modelo matemático tais imperfeições iriam implicar em distorções nos custos, levando possivelmente a respostas equivocadas. Esta desproporcionalidade é decorrência da dinâmica da indústria de transporte marítimo, que forma preços de acordo com outros fatores além de seus custos. O frete da Austrália para o Chile, por exemplo, tenderia a ser muito alto em relação a fretes entre países sul-americanos se fosse considerada apenas a distância, mas os valores se aproximam porque há um movimento muito grande de navios que descarregam na Austrália e, para não retornarem vazios às Américas, reduzem o valor do frete e se tornam atrativos.

A Tabela 4.24 a seguir mostra o custo com alumina por tonelada de alumínio produzida, calculado a partir da relação de 2:1. Foi considerado que todo o suprimento viria do fornecedor principal.

	Custo (US\$/ton)
Argentina	297
Chile	304
Venezuela	292

Tabela 4.24: Custo com Alumina por Tonelada de Alumínio

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação às variações encontradas nos custos com energia, as variações acima são praticamente insignificantes. Tal fato já era previsto e foi colocado anteriormente no trabalho.

#### 4.2.3 Mão de Obra

Estimar os custos com mão de obra para o smelter é uma tarefa difícil devido à falta de detalhes operacionais existentes sobre a planta. Para que estes custos fossem corretamente projetados seriam, no mínimo, necessárias informações sobre o quadro de funcionários e a planilha de salários. Como o cálculo direto não é possível, será utilizada uma aproximação que se acredita ser adequada para a comparação dos custos entre as alternativas locacionais.

O cálculo se baseia no valor médio do custo com mão de obra para smelters, estimado em US\$ 132,00/ tonelada [16], que é corrigido para a Argentina, o Chile e a Venezuela através das diferenças relativas entre o custo da mão de obra por hora nestes países e nos principais produtores de alumínio.

A tabela 4.5 a seguir traz o custo médio da mão de obra

País	Custo da Mão de Obra por hora (US\$/hora) <sup>14</sup>
Principais Países Produtores de Alumínio*	9,70
Argentina	6,15
Chile	4,61
Venezuela	6,51

\*Consiste na média ponderada pela produção dos custos com mão de obra (US\$/hora) dos principais países produtores de alumínio, responsáveis por cerca de 70% do total produzido: Estados Unidos, Rússia, Canadá, China, Austrália, Brasil e Noruega.

Tabela 4.25: Custo Médio da Mão de Obra no Setor Metalúrgico

Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>14</sup> Elaborado com dados do Bureau of Labour Statistics, Governo Norte Americano, 2000.

Uma vez que a média dos custos da mão de obra dos *smelters* foi ponderada pela quantidade produzida, pode-se utilizar o mesmo raciocínio para calcular o custo médio por hora da mão de obra nos *smelters*. Esse valor, mostrado na tabela 4.25, pode ser comparado aos valores específicos das alternativas locacionais para corrigir o custo com mão de obra por tonelada (Tabela 4.26).

País	Relação entre Custo por Hora do País e Custo Médio*	Valor Corrigido** (US\$/ton)
Média Mundial	1,00	132,00
Argentina	0,63	83,16
Chile	0,48	63,36
Venezuela	0,67	88,44

\* Custo por hora (Argentina, Chile ou 'Venezuela) / Custo por hora médio. Dados da Tabela X.

\*\* Relação entre custo por hora do país e custo médio multiplicada pelo custo total médio da mão de obra por tonelada.

**Tabela 4.26: Custo com Mão de Obra Corrigido para as Alternativas Locacionais**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através desta aproximação é possível estimar os custos totais com mão de obra por tonelada de alumínio nas três alternativas locacionais, baseado nas características reais do mercado de trabalho dos países.

#### **4.3.4 Transporte do Produto Acabado**

O último dos fatores tangíveis é o transporte do alumínio já em sua forma final para comercialização, os lingotes. Os custos com transporte de produto acabado são considerados como do *smelter*, pois desta maneira a posição em relação à demanda também é considerada.

O alumínio, como explorado anteriormente, é uma *commodity* e portanto possui um preço de mercado definido, principalmente, pela bolsa de mercadorias e futuro de Londres que negocia metais, a *London Metal*

Exchange ou LME. Este fato torna a posição geográfica do *smelter* importante do ponto de vista da demanda.

Para melhor explicitar a colocação anterior deve-se examinar a estratégia que rege a formação de preços e a decisão de compra do alumínio. Supondo que a cotação LME da tonelada do alumínio foi US\$ 1.000,00, tem-se que um comprador qualquer pode encontrar metal a este preço nos armazéns credenciados da LME, armazéns estes espalhados principalmente pela América do Norte e Europa. O preço máximo praticado por um *smelter* é, portanto, a cotação LME somada aos custos para transportar o metal do armazém credenciado até o comprador em questão. Se o preço do *smelter* for maior do que este valor o comprador dará preferência pelo metal do armazém. Com isto é simples perceber que a posição geográfica do *smelter* pode trazer vantagem competitiva em custos e a maneira de incorporar este fato no modelo é através da consideração dos custos de transporte do produto acabado nos custos totais.

Foi estimado o custo de transporte de produto acabado para os principais mercados consumidores mundiais e constatou-se que todas as alternativas locacionais tinham como destino mais barato os Estados Unidos. A Tabela 4.27 mostra os valores encontrados.

Origem \ Destino	EUA	Europa	Japão
Argentina	19	24	37
Chile	20	27	35
Venezuela	18	23	35

Tabela 4.27: Custo de Transporte de Alumínio (US\$/ton)

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.5 Outros Custos

Os outros custos de produção de alumínio, que se distribuem entre matérias primas adicionais(coque, floureto, anodos, etc.), manutenção, custos

com a sala de fundição dentre outros, são considerados constantes e são incorporados aos demais para que tenha-se uma idéia mais precisa do custo que será atingido no *smelter* do trabalho e não como fator que influenciará a decisão locacional.

A aproximação deste custo é realizada de forma simples, utilizando-se médias mundiais obtidas em estudos do Commoditie Research Unit [6] e dados da Alcoa. De um custo médio da tonelada do alumínio é extraída a porcentagem relativa aos custos mencionados anteriormente, obtida através da composição média de custos mundiais para *smelters* (Gráfico 4.6). Através deste cálculo obtém-se o valor:

$$\begin{aligned} \text{Outros\_Custos} &= \text{Custo\_Médio\_Tonelada} \times \text{Porcentagem\_Média} = \\ &= 900 \times 0,30 = \text{US\$}270,00 \end{aligned}$$

### **4.3 Avaliação dos Fatores Intangíveis (Qualitativos)**

A avaliação dos fatores qualitativos é bastante subjetiva e complementa a análise das alternativas locacionais sob a ótica das preferências e percepções do pessoal envolvido no projeto.

Os fatores intangíveis considerados, que segundo a empresa e autor alteram a atratividade de um local para a instalação de um *smelter*, são os seguintes:

- a) Risco Político
- b) Risco Econômico
- c) Risco Natural (terremotos, maremotos, furacões, etc.)
- d) Atratividade para Funcionários (expatriação)

Para fins de comparação, os países serão classificados nas categorias *Ruim*, *Razoável* e *Bom* quanto aos quesitos mencionados acima. Desta forma, ao final da análise dos fatores intangíveis será possível eleger a localidade vencedora.

#### 4.3.1 Risco Político

O que este item pretende medir é a probabilidade no país da ocorrência de eventos ou crises políticas que possam prejudicar um empreendimento da natureza do *smelter*. Governos totalitários ou democracias fracas, incapazes de manter o controle social, certamente são situações indesejáveis e que resultarão em um avaliação ruim do país. Principalmente casos em que o projeto está sujeito a vontades de governantes imprevisíveis ou que não respeitem o mercado privado receberão avaliação negativa. Já nações democráticas estáveis, com governantes sensatos e comprometidos com o capital internacional são atrativas e merecem uma boa avaliação sob a ótica de um investimento do porte do aqui tratado.

Os três países encontram-se em fases políticas distintas. A Argentina vive hoje uma situação bastante incômoda do ponto de vista político: a falta de poder e credibilidade do governo, decorrente principalmente da péssima situação econômica em que se encontra o país. Mesmo enfraquecido, o governo do presidente Fernando De La Rua ainda tenta reestruturar a dívida pública e instaurar medidas que recuperem o setor produtivo, enfrentando forte críticas dos partidos de oposição.

Sob o aspecto do risco político para o projeto a Argentina, apesar da atual crise, não apresenta qualquer ameaça e, ao contrário, tem uma tradição de incentivo ao capital privado, apresentando hoje diversos setores, que em outros países sulamericanos são monopólio do estado, abertos à livre concorrência.

O Chile atualmente é, sem dúvida, um país extremamente estável politicamente e com uma economia forte e em crescimento. O governo do presidente Ricardo Lagos no momento se concentra em reformas fiscais e de leis trabalhistas, que irão aumentar a receita do governo e conceder mais poder aos sindicatos e trabalhadores. Assim com o Argentina, o risco político envolvido em um projeto no Chile é baixo, pois é improvável que medidas governamentais repentinhas e significativamente danosas sejam tomadas.

A Venezuela reelegeu em maio de 2000 Hugo Chávez como presidente do País. Chávez possui características populistas, o que lhe garantiu o apoio dos 50% de venezuelanos em condições de pobreza.

Chávez introduziu mudanças significativas na política do país, como a reformulação da constituição de 1961 e o aumento do mandato presidencial para 6 anos. A influência militar na política também cresceu ao passo que o controle civil sobre os militares diminuiu. Chávez construiu fortes laços com Cuba e Iraque ao mesmo tempo que passou a criticar os Estados Unidos com maior veemência do que seus predecessores.

O excesso de poder concentrado nas mãos do presidente e algumas medidas polêmicas rebaixam a atratividade da Venezuela para o *smelter* do ponto de vista político, mas em um grau ainda aceitável. A Tabela 4.28 a seguir traz a avaliação dos países.

País	Avaliação
Argentina	Bom
Chile	Bom
Venezuela	Razoável

Tabela 4.28: Avaliação dos Países do Ponto de Vista Político

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.2 Risco Econômico

Do ponto de vista da economia de um país o principal fator que influencia um projeto da natureza do *smelter* é o câmbio. Isto ocorre porque o preço da *commodity* é cotado em dólares e grande parte dos custos está em moeda local, havendo portanto um descasamento perigoso. Uma desvalorização da moeda local em relação ao dólar, por exemplo, poderia diminuir os custos mas também poderia reduzir o valor dos investimentos feitos pela Alcoa no país. O estado e a volatilidade da economia em geral

também são importantes, mas o fato do *smelter* ser dedicado a exportação de certa forma o isola de problemas como a recessão.

A Argentina apresenta um quadro de extrema instabilidade econômica e uma possibilidade iminente de desvalorização da moeda e declaração de moratória da dívida externa. Esta situação não é nada animadora e novos investimentos devem esperar definições mais claras dos rumos da moeda.

A Venezuela, apesar da aparente tranquilidade, possui um governo extremamente centralizador e que pode desviar a economia a revelia do mercado. Recentemente, como forma de atrair investimentos estrangeiros, o presidente Chávez aprovou a Lei de Proteção e Promoção do Investimento (outubro de 1999). Esta lei garante estabilidade de impostos e incentivos para até dez anos após a assinatura do contrato. Mesmo com a lei, os investimentos externos têm diminuído, o que mostra a desconfiança do investidor no atual governo.

O Chile possui uma das economias mais fortes e estáveis da América Latina, mostrando-se menos influenciável a crises de vizinhos, como a Argentina, do que outros países. Economicamente o Chile, dentre as alternativas, é a melhor opção. A tabela 4.29 traz a avaliação das economias.

País	Avaliação
Argentina	Ruim
Chile	Bom
Venezuela	Razoável

Tabela 4.29: Avaliação dos Países do Ponto de Vista Econômico

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.3 Risco Natural

O risco natural busca classificar as alternativas locacionais para o *smelter* através da possibilidade de que eventos naturais venham a comprometer ou prejudicar significativamente o projeto. Tais eventos podem ser terremotos, furacões, maremotos, enchentes, entre outros.

A Argentina, na região de Baía Blanca possui características naturais bastante amenas e que não representam ameaça para o *smelter*. A Venezuela, apesar da proximidade com regiões severamente castigadas por tempestades tropicais, não possui na região de Porto Cabello histórico de ocorrências desastrosas.

O Chile, por sua vez, apresenta características geológicas mais instáveis. O país enfrenta abalos sísmicos com certa frequência, muitos deles perigosos à população e à infraestrutura. O último grande terremoto ocorreu em 1985 e atingiu a zona central do país, entre a Segunda e a Nona Região. Nesta ocasião, os indicadores registraram 7,7 pontos na escala Richter e o número de mortos chegou a 177. Até hoje números não oficiais indicam um total de 50.000 mortos em decorrência de terremotos, dos quais 30.000 correspondem às mortes ocorridas na cidade de Chillán em 1939.

Além de terremotos, há registros de dois outros fenômenos perigosos porém em menor frequência, as Tsunamis<sup>15</sup> e erupções vulcânicas. As Tsunamis varreram a costa chilena em duas ocasiões, afetando principalmente a porção norte do país, invadindo centenas de metros de terra e elevando o nível do mar em até 5 metros.

Apesar das estatísticas negativas, o país se adaptou às adversidades naturais e sua economia é bastante sólida o que demonstra a viabilidade do estabelecimento do *smelter*. A tabela 4.30 traz a avaliação do risco natural.

---

<sup>15</sup> *Ondas marítimas gigantes provocadas por abalos sísmicos*

País	Avaliação
Argentina	Bom
Chile	Razoável
Venezuela	Bom

**Tabela 4.30: Avaliação dos Países do Ponto de Vista do Risco Natural**

Fonte: Elaborado pelo autor

#### **4.3.4 Atratividade para Funcionários (Expatriação)**

Este tópico é bastante subjetivo e por este motivo foi discutido diretamente com alguns funcionários administrativos da Alcoa, que representam as pessoas que seriam transferidas no caso do estabelecimento do *smelter*.

Os resultados foram unâimes e representam a percepção dos indivíduos frente às alternativas locacionais. A tabela 4.31 traz o resultado da avaliação.

País	Avaliação
Argentina	Bom
Chile	Bom
Venezuela	Ruim

**Tabela 4.31: Avaliação dos Países do Ponto de Vista da Atratividade para Funcionários**

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.5 Comparação dos Fatores

Tendo em vista todos os fatores localizacionais considerados no problema de localização do *smelter*, deve ser construída uma tabela para a devida comparação das alternativas (Tabela 4.32).

Após esta comparação a aplicação do método está encerrada, restando a análise dos resultados obtidos para se determinar a melhor localização para o *smelter*.

	Argentina	Chile	Venezuela
<b>Fatores Tangíveis</b>			
Custos com Alumina	297,00	304,00	292,00
Custos com Energia Elétrica	757,96	479,72	249,46
Custos com Mão de Obra	83,16	63,36	88,44
Custos com Transporte de Produto Acabado	19,00	20,00	18,00
Outros Custos*	270,00	270,00	270,00
Total Fatores Tangíveis (Custo Total – US\$)	<b>1.427,12 (3º)</b>	<b>1.137,08 (2º)</b>	<b>917,90 (1º)</b>
<b>Fatores Intangíveis</b>			
Risco Político	1	1	0
Risco Econômico	-1	1	0
Risco Natural	1	0	1
Atratividade para Funcionários Expatriados	1	1	-1
Classificação segundo os fatores intangíveis	<b>2º</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>

\* Apesar de não ser um fator tangível é interessante colocá-lo para se ter aproximação mais precisa do custo total por tonelada

Tabela 4.32: Comparação dos Fatores

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os fatores intangíveis são quantificados atribuindo-se valor +1 para classificação *bom*, zero para *razoável* e -1 para *ruim*.

O Total dos fatores tangíveis indica a Venezuela como a melhor localização, seguida pelo Chile em segundo e a Argentina em terceiro. A classificação segundo os fatores intangíveis indica, por sua vez, vitória do Chile seguido da Argentina e por último a Venezuela. A diferença nos dois resultados deve ser analisada para a escolha da melhor alternativa.

## **Capítulo 5: Conclusão**

---

## 5. Conclusão

Os resultados obtidos pela aplicação do método dos orçamentos comparados ao problema de localização do *smelter* devem ser analisados para que se chegue a resposta procurada: Qual a melhor alternativa locacional?

A Tabela 5.1 traz a colocação de cada país em relação ao fatores tangíveis e intangíveis.

Tangíveis	Intangíveis
1º Venezuela	1º Chile
2º Chile	2º Argentina
3º Argentina	3º Venezuela

Tabela 5.1: Colocação dos Países

Fonte: Elaborado pelo autor

Infelizmente, a decisão para os resultados obtidos não é imediata, pois a indicação da localização não coincide entre os fatores tangíveis e intangíveis. Neste caso, deve-se analisar o processo, os dados levantados e principalmente a visão da empresa para se chegar a uma conclusão.

Inicialmente deve-se colocar que as três alternativas possuem características favoráveis para abrigar o *smelter*, pois são as vencedoras de toda a etapa de pré-seleção, que levantou dados sobre 13 países e selecionou apenas aqueles onde a operação da planta era em primeira análise possível. Apesar disto, tendo em vista os resultados, o grau de vantagem competitiva difere bastante.

A Argentina se mostrou pouco atrativa na conjuntura atual, tanto pelos elevados custos apresentados quanto pelas incertezas econômicas decorrentes da falta de habilidade do governo para sanear o setor público e aquecer o setor privado.

O custo da tonelada foi estimado em US\$ 1427,12, um valor muito alto se comparado com Chile e Venezuela. Mesmo quando considerado separadamente, este custo para a tonelada do alumínio não garante uma

operação acima do *break even point* [12], devido principalmente à proximidade e em algumas ocasiões à superação dos preços de venda, à variabilidade das cotações do alumínio nas bolsas e ao fato de que os custos reais podem ser ainda maiores. A Tabela 5.2 traz as cotações do alumínio na bolsa de Londres (LME).

Ano	US\$/ton*
1990	1.640,21
1991	1.302,68
1992	1.254,63
1993	1.139,38
1994	1.477,17
1995	1.806,08
1996	1.506,05
1997	1.599,74
1998	1.357,84
1999	1.361,45

\*Cotação anual média para compra à vista

Tabela 5.2: Preços do Alumínio na Bolsa de Londres (LME)

Fonte: ABAL, 2000

Por estas razões a decisão será tomada entre Venezuela, o vencedor segundo os fatores tangíveis, e o Chile, o vencedor segundo os fatores intangíveis.

Dois pontos devem ser avaliados para que possa ser determinado o vencedor geral para o problema, ou seja, aquele que reúne o melhor conjunto de características, proporcionando o melhor desempenho para o *smelter*. O primeiro ponto é relevância dos dois tipos de fatores para a operação da planta, ou seja, o que é mais importante para garantir o sucesso do projeto. O segundo ponto é a situação das alternativas locacionais em relação aos fatores em que não foram a melhor opção, ou seja, o quanto comprometedoras são as desvantagens devido a estes fatores.

Para se determinar se os aspectos tangíveis são mais ou menos relevantes do que os intangíveis é importante analisar a importância de cada um para a empresa e a objetividade com que foram avaliados os países.

Considerando estes critérios os fatores tangíveis são, sem dúvida, os mais importantes. Isto porque a indústria do alumínio é totalmente orientada para os custos e é através dele que se determina a margem de lucro de um *smelter*, uma vez que os preços são fixados pelo mercado que, há muito, não é passível de manipulação direta por parte das empresas. Além da importância estratégica, os fatores tangíveis são quantificados de maneira objetiva, através de dados reais que garantem bases inquestionáveis para os resultados.

Os fatores intangíveis, sob o aspecto da relevância, são superados pelos tangíveis não por serem pouco importantes mas porque os custos determinam o sucesso ou fracasso de um projeto da natureza de um *smelter*. O grande inconveniente com os fatores intangíveis está na subjetividade com que ocorre a avaliação das alternativas locacionais. Por mais estruturada que seja a pesquisa e os estudos acerca dos aspectos não quantificáveis, a comparação de diferentes localidades será sempre influenciada pelas percepções e idéias de quem a realizou. Para minimizar este problema, a avaliação destes fatores deve ser discutida pelo maior número de pessoas, de preferência especialistas dos diversos setores envolvidos.

Uma vez determinado que os fatores tangíveis, ou seja os custos estimados para a tonelada do alumínio, são mais importantes e devem ser considerados primeiro passa-se para a análise do segundo ponto colocado como importante: a situação da alternativa locacionanal em relação aos fatores em que foi mal avaliada. Objetivamente, como a Venezuela é a vencedora no lado quantitativo por uma grande vantagem (custos 20% menores), deve-se analisar se seus aspectos qualitativos são suficientemente piores que os chilenos para que a se mude a escolha.

A análise um pouco mais cuidadosa dos resultados mostra que o principal fator que levou a Venezuela a se destacar negativamente em relação a aspectos qualitativos foi a percepção ruim que os funcionários da Alcoa possuem do país. A relevância deste fator para a avaliação qualitativa da Venezuela pode ser diminuída por dois motivos: Os funcionários atribuiram o conceito ruim sem conhecer realmente o país e as transferências (expatriações) são na maioria dos casos opcionais e temporárias. Os outros

fatores, política, economia e ambiente natural são razoáveis ou bons segundo a avaliação deste trabalho.

Os fatos acima levam à eleição da Venezuela, na região de Puerto Cabello, como melhor localização para um *smelter* na América do sul. O Chile fica como localização alternativa, que apesar das ótimas condições políticas, econômicas e sociais, necessita de algum trabalho em custos, principalmente nos preços da energia elétrica.

## Referências Bibliográficas

- [1] PORTER, Michael E. – **Vantagem Competitiva - Criando e Sustentando um Desempenho Superior**. Rio de Janeiro, Campus, 1989.
- [2] WOILER, Samsão; Mathias, Washinton F. – **Projetos: Planejamento, Elaboração e Análise**. São Paulo, Atlas, 1996.
- [3] LEME, Ruy Aguiar da Silva – **Contribuições à Teoria da Localização**. São Paulo, FCEAUSP., 1965.
- [4] IIDA, Itiro – **Localização Industrial pelo Método dos Orçamentos Comparados**. In: *Aplicações de Engenharia de Produção: Um Estudo de Sete Casos em Empresas Brasileiras*. São Paulo, Pioneira, 1972.
- [5] ZVI, Drezner – **Facility Location - A Survey of Applications and Methods**. New York, Springer-Verlag, 1995.
- [6] Commoditys Research Unit Limited – **Competitive Strategy in Aluminium - Is Vertical Integration Necessary?**. Londres, 1989.
- [8] GONÇALVES, Leonardo B. – **Avaliação de Empresas no Setor de Alumínio e Alternativas de Financiamento**. Trabalho de Formatura, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- [9] Associação Brasileira do Alumínio – **A Indústria Brasileira do Alumínio**. São Paulo, 1989.
- [10] KRAFT, Thomas – **Cost Reduction**. Aluminium Today, Nova Iorque, Year 2, January/February 1999.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – **Anuário Estatístico ABAL 1999.** São Paulo 1999.

[12] GITMAN, Lawrence J. – **Princípios de Administração Financeira.** São Paulo, Harba, 1984.

[13] METAL BULLETIN – **World Aluminium Atlas.** Londres, 1996

[14] COSTA, Reinaldo P.; Oliveira, Celso S. – **Um Modelo de Planejamento e Análise Econômica do Sistema de Produção-Transporte da Cooperativa Central dos Produtores de Açucar, Álcool e Cana do Estado de São Paulo – COPERSUCAR.** São Paulo.

[15] CEPAL – **Perfil Marítimo de América Latina y el Caribe.** Santiago do Chile, 2001.

[16] ALCOA Inc – **Alcoa Paper on Venezuelan Aluminum Privatization.** Pittsburg, 1998.