



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPTº DE ENGENHARIA AMBIENTAL - DEA

MEPLIM

**MESTRADO PROFISSIONAL EM
GERENCIAMENTO E TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS NO PROCESSO PRODUTIVO**

EDSON TETSUO KOGACHI

**REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS
FÓSSEIS NAS ÁREAS DA FUNDIÇÃO E
CONVERSÃO DE UMA METALURGIA DE COBRE**



**SALVADOR
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

EDSON TETSUO KOGACHI

**REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NAS ÁREAS
DA FUNDIÇÃO E CONVERSÃO DE UMA METALURGIA DE COBRE**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres

Salvador
2008

K788 Kogachi, Edson Tetsuo

Redução do consumo de combustíveis fósseis nas áreas da fundição e conversão de uma metalurgia de cobre / Edson Tetsuo Kogachi – Salvador, 2008.

146 p.; il.

Orientador: Dr. Ednildo Andrade Torres
Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2008.

1. Combustíveis fósseis. 2. Metalurgia de cobre. 3. Pirometalurgia. 4. Eficiência energética. 4. Energia – Aspectos ambientais. I. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. II. Torres, Ednildo Andrade. III. Caraíba Metais. IV. Título.

CDD 669

TERMO DE APROVAÇÃO

EDSON TESTUO KOGACHI

REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NAS ÁREAS DA FUNDIÇÃO E CONVERSÃO DE UMA METALURGIA DE COBRE

Dissertação aprovada como requisito parcial obtenção do grau de Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo - Ênfase em Produção Limpa, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Ednildo Andrade Torres _____
Doutor em Engenharia Mecânica / Energia, Unicamp

Ricardo Kalid _____
Doutor em Engenharia Química, USP

Lourenço Gobira Alves _____
Doutor em Engenharia Mecânica, Unicamp

Salvador, de

de 2008

A
Virginia, minha esposa, pelo amor, companheirismo e paciência.
Fernanda, minha filha, pela alegria e prazer de educar.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha existência por me acompanhar e dar suporte em todos os momentos.

Aos meus pais, pela formação ética, moral e profissional.

À minha família pela harmonia e prazer de viver.

Ao Professor Ednildo Torres, pelo esforço conjunto e pelas palavras de otimismo na certeza do nosso sucesso.

À Caraíba Metais pelo apoio na realização deste curso.

Ao Centro de Tecnologias Limpas – Teclim da UFBA, pela infra-estrutura, pela simpatia dos coordenadores, professores e funcionários.

O Brasil é um país que convive com grandes desperdícios. Por incrível que possa parecer, isso é uma vantagem, pois, no dia em que formos competentes para eliminar esses desperdícios, vamos ter um aumento brutal de produtividade, de competitividade. Já não se vê tanto desperdício na Dinamarca, Suíça, Áustria, Suécia, são economias que não têm muito o que melhorar neste aspecto, já estão num patamar de eficiência bastante elevado, não têm muitos saltos a dar. Nós não, temos que evoluir muito.

Amiir Klink, 2000

RESUMO

Esta pesquisa busca estudar potenciais de reduções no consumo de combustíveis fósseis na etapa pirometalúrgica da única metalurgia de cobre no Brasil a partir do minério concentrado, mediante a contextualização de indicadores relacionados à energia, a avaliação da viabilidade técnica e econômica de uma alternativa para melhoria da eficiência através de um estudo de caso e a revelação de outros potenciais de pesquisa no intuito de reduzir os combustíveis fósseis. As alternativas buscam o aproveitamento térmico dos gases residuais dos Fornos da área da Conversão, exauridos desde sua implantação sem nenhum tipo de aproveitamento. A metodologia de pesquisa propõe análise documental de indicadores de desempenho, avaliação de um estudo de caso mediante a modelagem estatística de processo do sistema de exaustão dos gases dos fornos de refino, e aponta outros potenciais de pesquisa. No final deste trabalho aumenta-se a compreensão do desempenho energético da metalurgia de cobre brasileira obtêm-se uma noção real da existência de possibilidades de ganhos, simultâneos, econômicos que chegam à ordem anual de R\$ 1,8 milhão e ambiental com redução de 1.400 t de emissão de CO₂ na atmosfera equivalente a capacidade de neutralização de 16.400 árvores e substituição de 180 mil m² de áreas destinadas a aterros industriais para áreas de recuperação florestal em torno da Caraíba Metais e finalmente aponta rumos para futuros trabalhos para a melhoria da eficiência energética da unidade pirometalúrgica da Empresa.

Palavras chave:

Redução de combustíveis fósseis; Metalurgia de cobre; Energia, Meio ambiente

ABSTRACT

This research aims to study potencies reductions in the consumption of fossil fuels in step pirometalúrgica of the only metallurgy of copper in Brazil from concentrate ore, by means of the contextualization of pointers related to energy, the evaluation of the technical viability and the economy of an alternative for improvement of the efficiency through a case study and the revelation of other potencies of research to reduce fossil fuels. The alternatives search for the thermal usage of the residual gases of the Ovens of the area of Conversion, emitted since its implantation without any type of usage. The research methodology suggests document analysis of performance indicators, to evaluate a case study by means of modeling statistics of the process of the system of exhaustion of the gases of the refining ovens, and to disclose other potentials of research. At the end of this work is to increase understanding of the performance of Brazilian smelter, to get a real notion of the existence of possibilities of profits, simultaneous, economic that arrive at the annual order of R\$ 1.8 million and environmental with reduction of 1.400 tonnes of CO₂ emissions in the atmosphere equivalent to the neutralization capacity of 16.400 trees and replacement 180.000 m² of areas for industrial landfills to areas of forest recovery around the Caraiba Metais and finally to guide ways for future works for the improvement of energy efficiency oh the Company's smelter.

Key Words:

- Fossil fuel reduction; Smelter; Energy, Environment

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEME	Agência do Meio Ambiente e da Matriz a Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASME	Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (<i>American Society of Mechanical Engineers</i>)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Social
CEPED	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
CFD	Códigos Computacionais na Dinâmica de Fluidos
CM	Caraíba Metais
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural
CONSERVE	Programa de Conservação e Substituição do Óleo Combustível na Indústria
CRU	Consultoria Britânica que Analisa e Divulga Desempenho dos Setores Químicos, de Fertilizantes, de Metais e outros.
DEFRA	Departamento Britânico para o Meio Ambiente: Água, Alimento, Ar, Terra, Povos, Animais e Plantas (<i>Department for environment food and rural affairs</i>)
DMP	Diferencial Mínimo de Temperatura
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos
DTM	Diferencial Mínimo de Temperatura
ECCJ	Centro de Conservação de Energia do Japão

ECO 92	Conferência Internacional das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no estado do Rio de Janeiro em 1992
EERE	Órgão dos Estados Unidos para o Desenvolvimento de Tecnologias e Práticas de Eficiência de Energia e Uso de Fontes Renováveis (<i>Energy Efficiency and Renewable Energy Network</i>)
ESCO	Empresa de Otimização de Energia e Água (<i>Energy Saving Company</i>)
EST	Organização Britânica sem Fins Lucrativos para Eficiência Energética (<i>Energy Saving Trust's</i>)
FFEM	Fundo Francês pelo Meio Ambiente Global
IEA	Instituto de Estudos Avançados
IP	Integração de Processos
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
METI	Ministério da Economia do Comércio e da Indústria do Japão
NRCan	Recursos naturais do Canadá (<i>Natural Resources Canadá</i>)
OIT	Órgão dos Estados Unidos para Tecnologias na Indústria (<i>Office of Industrial Technologies</i>)
OEE	Órgão de Eficiência Energética do Canadá (<i>Office of Energy Efficiency</i>)
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PLC	Sistema Supervisório de Controle dos Fornos de Refino da Caraíba Metais
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL	Programa ao Combate ao Desperdício de Energia Elétrica
SIP	Sistema Integrado de Processos da Caraíba Metais

SMS	Política de Segurança, Meio Ambiente e Saúde Ocupacional
SoP	Programa Britânico para Padrões de Performance Elétricos
UNFCCC	Convenção das Nações Unidas para a Mudança do Clima (<i>United Nations Framework Convention of Climate Change</i>)
UTE	Unidade de Tratamento de Efluentes da Caraíba Metais

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção anual de catodo de cobre	25
Tabela 2 - Perfil de consumo de cobre no Brasil (mil t)	26
Tabela 3 - Capacidade produtiva da Caraíba Metais	45
Tabela 4 - Balanço térmico do forno flash	65
Tabela 5 - Resumo dos benefícios estimados em US\$/ano	68
Tabela 6 - Vazão das emissões atmosféricas da chaminé da área de refino	100
Tabela 7 - Estatísticas da carga térmica por etapa	113
Tabela 8 - Tempo por etapa	114
Tabela 9 - Carga térmica para escória	114
Tabela 10 – Tempo de retorno do investimento para secagem de escória	115
Tabela 11 - Carga térmica para lama de gesso	117
Tabela 12 – Tempo de retorno do investimento para secagem de lama de gesso	118
Tabela 13 – Área do aterro de resíduos	118
Tabela 14 - Tempo padrão de operação dos conversores	121
Tabela 15 – Resumo dos ganhos com esta pesquisa	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de gastos com energéticos na Caraíba Metais	22
Figura 2 - Importações de cobre na forma de catodo eletrolítico	27
Figura 3 - Composição de custo Caraíba Metais	29
Figura 4 - Composição de custos da energia na Caraíba Metais	30
Figura 5 - Consumo de energia e expectativas	31
Figura 6 - Processo da fundição	34
Figura 7 - Processo da conversão, refino e moldagem	38
Figura 8 - Energia conservada no mundo	47
Figura 9 - Distribuição do refino de cobre no mundo	55
Figura 10 - Caldeira de recuperação de calor antes e depois da modificação	56
Figura 11 - Fornos de anodo da metalurgia de cobre de Kennecott	61
Figura 12 - Diagrama de curvas compostas	77
Figura 13 - Esquema do sistema por absorção Eletrolux	78
Figura 14 - Sistemas industriais por absorção	79
Figura 15 - Caldeira de recuperação de calor	82
Figura 16 - Projeção do crescimento populacional mundial	84
Figura 17 - Do Fim-de-tubo à sustentabilidade ambiental	86
Figura 18 - Organograma mestre das ações para prevenção e controle da poluição	87
Figura 19 - Impacto ambiental	89

Figura 20 - Impacto ambiental e tecnologias limpas	90
Figura 21 - Estruturação das metodologias	93
Figura 22 - Diagrama esquemático dos gases de exaustão dos fornos de refino	101
Figura 23 – Diagrama esquemático do processo de secagem de escória	103
Figura 24 – Preço da energia por regiões	107
Figura 25 – Comparação entre Caraíba Metais e as outras metalurgias	108
Figura 26 – Consumo específico de energia em 2004	108
Figura 27 – Consumo específico de energia em 1999	109
Figura 28 – Evolução de preços relativos do gás natural e óleo	110
Figura 29 – Consumo de energia das metalurgias	111
Figura 30 – Consumo de energia das metalúrgicas por tecnologia	111
Figura 31– Consumo de energia das metalúrgicas com tecnologia Flash Smelter	112
Figura 32 – Representatividade da Redução de Custos do Estudo de Caso	116
Figura 33 – Emissões de CO ₂ do Estudo de Caso, base 2006	116
Figura 34 – Árvores para Neutralização de CO ₂	117
Figura 35 – Desempenho Energético das Metalurgias com Caldeiras nos Fornos Conversores	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONTEXTO MUNDIAL E NACIONAL	19
1.2	A EMPRESA	20
1.3	OBJETIVO DA PESQUISA	20
1.4	MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	21
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	MERCADO, DESEMPENHO E ENERGIA	25
2.1	CAPACIDADE DA EMPRESA	25
2.2	MERCADO	25
2.3	FOCO NA PRODUÇÃO	26
2.4	CUSTOS OPERACIONAIS	27
2.5	ENERGIA	28
3	PROCESSO METALÚRGICO	32
3.1	RECEPÇÃO E ESTOCAGEM DE MATÉRIA-PRIMA	32
3.2	PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	33
3.3	FUNDIÇÃO	33
3.3.1	Secagem	34
3.3.2	Fusão de Concentrado (Flash Smelting)	35
3.3.3	Caldeira de Recuperação de Calor	35
3.3.4	Tratamento de Escórias	35
3.4	CONVERSÃO DO MATTE	36
3.5	REFINO A FOGO	37
3.6	RODA DE MOLDAGEM	37
3.7	REFINO ELETROLÍTICO	39
3.8	LAMINAÇÃO	39
3.8.1	Produção de Vergalhão	39

3.8.2	Vergalhão Oxygen Free	40
3.8.3	Fios trefilados	40
3.9	SUB PRODUTOS	40
3.9.1	Planta de Ácido Sulfúrico	40
3.9.2	Oleum	42
3.10	EFLUENTES	42
3.11	UTILIDADES	43
3.11.1	Oxigênio	43
3.11.2	Ar Comprimido	43
3.11.3.	Casa de Caldeira	44
3.11.4.	Água	44
3.11.5.	Energia Elétrica	44
3.12.	CAPACIDADE PRODUTIVA	44
4	REVISÃO LITERÁRIA	46
4.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E OS PROGRAMAS	46
4.1.1	No Brasil	47
4.1.2	Na França	49
4.1.3	No Canadá	50
4.1.4	No Japão	51
4.1.5	No Reino Unido	52
4.1.6	Nos Estados Unidos	53
4.2	ATUAÇÃO DAS METALURGIAS DE COBRE	54
4.2.1	Metalurgia de Cobre de Harjavalta – Finlândia	55
4.2.2	Metalurgia de Cobre de Horne – Canadá	57
4.2.3	Metalurgia de Cobre de Kennecott Utah – USA	60
4.2.4	Metalurgia de Cobre de Gresik Ore – Indonésia	61
4.2.5	Metalurgias de Cobre do Chile	62
4.2.6	Metalurgias de Cobre do Japão	63
4.2.6.1	<i>Redução de Combustível no Forno Flash</i>	64

4.2.6.2	<i>Redução de Energia Elétrica na Planta de Ácido Sulfúrico</i>	65
4.2.6.3	<i>Recuperação da Energia Exaurida e Fortalecimento no Sistema de Cogeração</i>	65
4.2.7	Metalurgia de Cobre de Dias d'Ávila, Caraíba Metais – Brasil	66
4.3	ASPECTOS CONCEITUAIS	68
4.3.1	A Energia	69
4.3.2	Conceituação de integração de processos para melhoria da eficiência energética	72
4.3.2.1	<i>Correntes integradas termicamente</i>	73
4.3.2.2	<i>Sistemas por absorção</i>	77
4.3.2.3	<i>Sistemas de recuperação de calor para produção de vapor</i>	80
5	TECNOLOGIAS LIMPAS	83
5.1	FATOR 10	83
5.2	ABORDAGEM DO PROBLEMA DOS RESÍDUOS, EMISSÕES E EFLUENTES NA INDÚSTRIA	85
5.3	FINANCIAMENTO DAS TECNOLOGIAS LIMPAS	88
5.4	MEDIDAS TECNOLÓGICAS LIMPAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.	90
6	METODOLOGIA	92
6.1	INDICADORES DE DESEMPENHO	93
6.1.1	Preço da Energia	94
6.1.2	Uso e Custo das Fontes de Energia na Caraíba Metais	94
6.1.3	Matriz Energética Caraíba em 1999 e 2004	95
6.1.4	Consumo energético por cobre produzido	95
6.2	ESTUDO DE CASO	96
6.2.1	Seleção do Processo que Libera Gases a serem Aproveitados	96
6.2.2	Seleção dos Processos que Recebem a Energia Térmica	97
6.2.2.1	<i>Secagem da Escória</i>	97
6.2.2.2	<i>Secagem de Lama de Gesso</i>	98
6.2.3	Determinação das Cargas Térmicas	99

6.2.3.1	<i>Gases de exaustão</i>	99
6.2.3.2	<i>Forno de Secagem de Escória</i>	102
6.2.4	Avaliação econômica	104
6.2.5	Avaliação ambiental	104
6.3	OUTRAS OPORTUNIDADES ENERGÉTICAS	105
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	106
7.1	INDICADORES DE DESEMPENHO E ANÁLISES	106
7.1.1	Preço da Energia	106
7.1.2	Uso e Custo das Fontes de Energia na Caraíba Metais	107
7.1.3	Matriz Energética Caraíba em 1999 e 2004	109
7.1.4	Consumo energético por cobre produzido	110
7.1.5	Análise geral dos indicadores	112
7.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO	113
7.2.1	Resultado e Análise ao Estudo de Secagem de Escória Granulada	114
7.2.2	Resultado Ambiental da Secagem de Escória	116
7.2.3	Resultado e Análise ao Estudo de Secagem de Lama de Gesso	117
7.3	RESULTADOS E ANÁLISE DE OPORTUNIDADES ENERGÉTICAS	118
8	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTURUS TRABALHOS	122
	REFERÊNCIAS	126
	APÊNDICE A - Ciclos dos Fornos de Refino de 01/07/2006 a 05/07/2006	133
	APÊNDICE B - Siderurgias Brasileiras	136
	ANEXO A - Fluxogramas de Processo da Caraíba Metais	138

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO MUNDIAL E NACIONAL

O desenvolvimento econômico e o consumo crescente das fontes de energias para promoção do bem-estar das pessoas vêm provocando um desequilíbrio ambiental ao nosso planeta e, se não houver um grande esforço mundial no redirecionamento das nossas ações, compromete-se a qualidade de vida das próximas gerações, e/ou até a sobrevivência da espécie humana. No Brasil, a indústria é o principal responsável pelo consumo de gás natural, carvão mineral e vegetal e eletricidade para transformação de energia. Alguns recursos naturais estão se esgotando na natureza e ficando cada vez mais caro. Assim, a capacidade de lidar bem com as questões energéticas, maximizando a sua eficiência, será fator determinante para o sucesso e sobrevivência das empresas. Além de diminuir os custos de produção, promoverá a redução de emissões de CO₂ na atmosfera. Esta redução é altamente benéfica ao meio ambiente para combater o efeito estufa e a elevação da temperatura da terra, provocada pela queima de combustíveis fósseis, principal fonte de energia nos dias de hoje.

Conscientes dessa problemática e sabedora do potencial de oportunidades a serem desenvolvidas, lideranças mundiais, principalmente, de países desenvolvidos, investem significativamente em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias de otimização energética proporcionando inúmeras alternativas tecnológicas nos diversos setores da indústria.

O corpo empresarial brasileiro, que tinha como estratégia apenas a obtenção de um bom contrato de fornecimento de insumo para energia ou monitoramento de seu uso em índices de produtividade, começa a atentar mais para o gerenciamento desse recurso, preocupando-se com a identificação de perdas energéticas nos sistemas e seus impactos nos custos, diferenciando-as em procedimentos inadequados ou tecnologias defasadas. Além de

investir nos profissionais de pesquisa e desenvolvimento, as empresas brasileiras começam a atentar, também, para a capacitação de seu corpo técnico e operacional no sentido de identificar as novas alternativas disponíveis para o setor influenciando e apoiando a liderança organizacional na busca tecnológica de processos, produtos e serviços para a manutenção atualizada do seu parque fabril.

1.2 A EMPRESA

Apresenta-se na seqüência, um breve histórico sobre a Caraíba Metais, empresa a ser estudada. Situada junto ao Pólo Petroquímico de Camaçari, próximo a Salvador, no Estado da Bahia. No Brasil, só a Caraíba Metais, com certificação de qualidade pela ISO 9002, produz cobre eletrolítico, a partir do concentrado, com 99,99% de pureza. É empresa registrada na Bolsa de Metais de Londres, o que significa dizer que o cobre da Caraíba é negociado em qualquer parte do mundo sempre com a cotação da Bolsa. Os catodos de cobre eletrolítico são produzidos a partir de concentrados de cobre que vêm principalmente do Chile e desembarcam no Porto de Aratu, a 30 km da fábrica. Esses concentrados contêm em média 30% de cobre. Dos catodos também se obtêm vergalhões, um produto ainda mais elaborado. Esses produtos são colocados não só no mercado brasileiro, mas também na área do Mercosul e em muitos outros países, especialmente Japão, Coréia e Israel. Para disputar mercados competitivos como esses e marcar a presença do produto brasileiro de qualidade no mundo inteiro a Caraíba Metais adota a gestão com base nos princípios da Qualidade Total. Fundada em 1969, é considerada uma fábrica moderna e uma das metalúrgicas de cobre mais competitivas do mundo.

1.3 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo geral deste trabalho é estudar oportunidades de redução do consumo de combustíveis fósseis nas áreas da Fundição e Conversão da Caraíba Metais, mediante análise de viabilidades técnico-econômicas e ambientais de alternativas tecnológicas no ramo da reintegração de correntes quentes a outros processos da unidade industrial. Como objetivos específicos são propostos:

- Contextualizar o desempenho energético das áreas da Fundição e Conversão, etapa pirometalúrgica, da Caraíba Metais mediante indicadores que comparam a metalurgia de cobre brasileira com os demais produtores ao redor do mundo.
- Avaliar possibilidade de aproveitamento térmico dos gases de exaustão dos fornos de refinamento a fogo, reintegrando esta energia, atualmente desperdiçada, em processos de secagem de resíduos sólidos do processo produtivo do cobre reduzindo o consumo de combustíveis fósseis na Empresa e as emissões de CO₂ despejadas na atmosférica.
- Indicar outras oportunidades de reintegração energética entre as diversas fases do processo pirometalúrgico do cobre, da secagem do minério concentrado até a moldagem de anodo, no foco do aproveitamento térmico dos gases de exaustão de uma etapa em outras do processo produtivo com potencial de reduzir o consumo de combustíveis fósseis na empresa.

1.4 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Dentre muitas formas de almejar a eficiência, foca-se neste trabalho o potencial térmico não aproveitado pela Caraíba Metais. Por possuir um processo altamente exotérmico e uma matéria prima energética, libera em alguns pontos do sistema, carga térmica residual em forma de emissões atmosféricas, pelas suas chaminés, sem o máximo de reaproveitamento. Analisa-se o estágio de eficiência energética, do processo pirometalúrgico da Empresa Caraíba Metais. Estuda-se a primeira das três etapas para a produção de Cobre eletrolítico, ou seja, o processo que utiliza calor para a transformação do concentrado de cobre até a formação do anodo de cobre via fusão, conversão e refino a fogo, processos estes, exotérmicos e de grande potencial energético. Apesar de moderna, a energia gerada, atualmente, não está sendo totalmente reaproveitada, tendo um grande potencial de aproveitamento. Vale lembrar que seu projeto é da década de 60, portanto, antes da crise mundial do petróleo, principal fonte de energia no mundo. A segunda etapa da produção é o refino eletrolítico, transformação do anodo de cobre a 99,7% em catodo de cobre com 99,99% de pureza através da eliminação de impurezas nocivas às propriedades eletro-mecânica do cobre. E a terceira e última etapa, a Laminação, onde os catodos de cobre, que se destinam à produção do vergalhão, são fundidos e lingotados até a formação do vergalhão – fio de cobre a 8 mm de diâmetro. As duas últimas etapas, também, possuem oportunidades, no entanto,

não serão tratados nesta pesquisa, devido à dimensão dos processos e opção em se limitar a abrangência do trabalho nas áreas da fundição e conversão.

Para permitir melhor compreensão da dimensão das potencialidades de reduções com combustíveis fósseis, contextualizam-se os gastos energéticos na primeira etapa do processo metalúrgico, pirometalúrgico, com o total gasto na Caraíba Metais, bem como se representa os combustíveis fósseis desta etapa, objeto desta pesquisa, conforme ilustrado a seguir, na Figura 1.

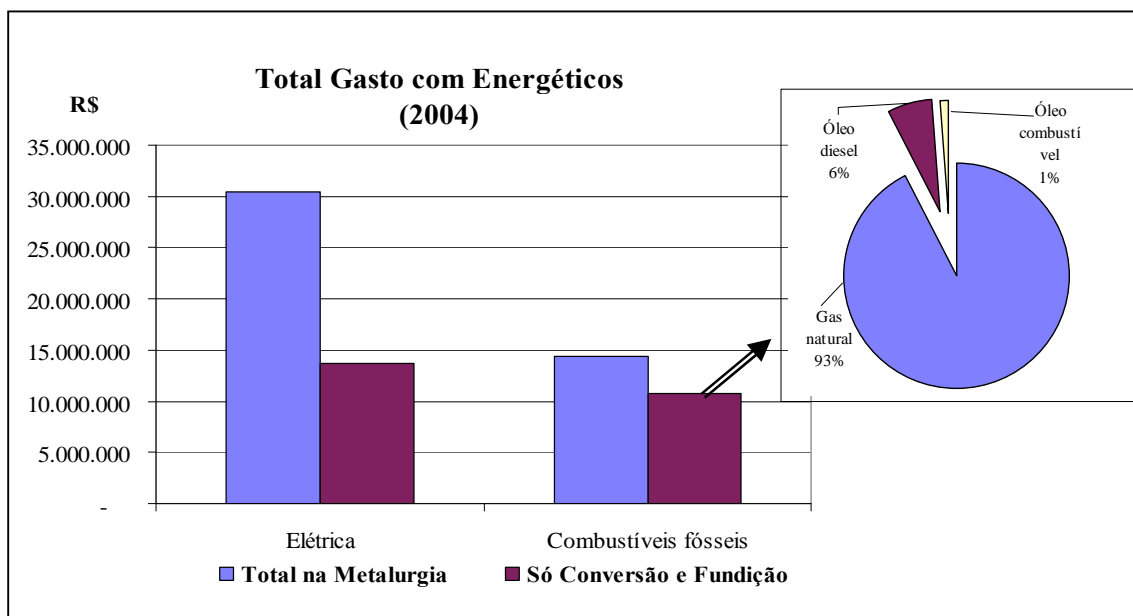


Figura 1 - Total de gastos com energéticos na Caraíba Metais

Fonte: CARAIBA METAIS S.A., 2005a

Conforme pode ser observado, este trabalho, também, se alinha à política ambiental da empresa referente a manter atualizados os seus processos, visando à melhoria contínua a favor da atuação preventiva no uso dos recursos naturais e nos aspectos e impactos ambientais negativos, internos e externos às suas unidades industriais, já que avaliará a possibilidade do reaproveitamento do resíduo térmico da unidade pirometalúrgica. E para se ter uma idéia da dimensão ou ordem de grandeza deste potencial, tem-se:

- A emissão de gases quentes dos fornos de Refino correspondem a aproximadamente 7.600 t/ano de CO₂ na atmosfera a 350°C de temperatura, decorrentes da queima de 3,2x10⁶ m³/ano de gás natural equivalentes a 3x10⁶

L/ano de óleo diesel, suficientes para fornecer energia elétrica a 8 mil famílias ao ano e;

- O calor residual dos gases que saem dos fornos Conversores a uma temperatura de 1.200°C e vazão de 50 mil Nm³/h durante 18 horas por dia. Estes gases são resfriados até 400°C sem nenhum tipo de aproveitamento térmico ao contrário do que acontece na maioria das companhias japoneses que detém os melhores índices energéticos entre as metalurgias de cobre no mundo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação encontra-se estruturada em oito capítulos, incluindo este que é introdutório.

No Capítulo 2, é caracterizada a capacidade da Empresa, mercado do cobre e consumo energético. Também é feita comparações entre as diversas metalurgias existentes no mundo.

O Capítulo 3 apresenta o processo produtivo da Caraíba Metais desde o recebimento do concentrado, tanto via ferroviário quanto rodoviário, até as etapas de concentração e transformação do cobre na Caraíba Metais.

O Capítulo 4 traz a revisão literária sobre o tema eficiência energética. São mostrados os programas de eficiência energética no Brasil e outros países, na seqüência as melhorias tecnológicas desenvolvidas em diversas metalurgias de cobre. E, por fim, são apresentados elementos conceituais sobre o tema.

O Capítulo 5 faz uma abordagem em temas de tecnologias limpas correlacionados à eficiência energética. Traz a necessidade de aumentar o ritmo das mudanças, como financiar as tecnologias e alguns exemplos técnicos para a melhoria de eficiência.

O Capítulo 6 traz a metodologia de pesquisa aplicada ao trabalho. É mostrado como foram selecionadas as etapas e processos produtivo do cobre, objeto do estudo desta pesquisa, o potencial térmico disponível e os consumidos nos fornos secadores de resíduos, através de equações e balanços energéticos, e avaliação econômica da integração e otimização energética.

O Capítulo 7 traz os resultados da pesquisa. Mostra as oportunidades sobre a secagem da escória e lama de gesso através da carga térmica dos gases residuais dos fornos de refino a fogo.

O Capítulo 8 destina-se a apresentar a conclusão sobre o trabalho. Além de fazer menção da necessidade da melhoria continuada sobre o tema e aponta novos rumos de pesquisas. Estas podem se desenvolver em outras etapas do processo produtivo do cobre e as fontes de pesquisas e experiências obtidas até em siderurgias brasileiras.

2 MERCADO, DESEMPENHO E ENERGIA

2.1 CAPACIDADE DA EMPRESA

A capacidade nominal da Empresa é produzir e ofertar anualmente 220.000t de cobre eletrolítico ao mercado interno e externo. O ritmo anual de produção é menor, conforme tabela apresentada a seguir, em decorrência de paradas para manutenção da planta e eventuais problemas operacionais.

Tabela 1 – Produção anual de catodo de cobre

Produção de Cobre - Catodo (t)					
2002	2003	2004	2.005	2.006	Média
187.366	173.517	208.027	199.041	219.684	197.527

Fonte: Caraíba Metais S.A, 2007

2.2 MERCADO

Conforme demonstrado na tabela 2, a Caraíba Metais, única produtora de cobre primário no Brasil, detém 52% do mercado nacional. A outra parcela, 48%, é atendida pelos países Chile e Peru através de empresas como Codelco, Ebami e Madeco. Além do mercado nacional a Caraíba Metais atende ao mercado externo exportando cerca de 30% de sua produção. Esta distribuição contribui, ainda mais, para que o Brasil não seja auto-suficiente na produção de cobre primário, ou seja, mesmo direcionando toda a produção da Caraíba Metais para o mercado interno o Brasil precisaria importar esse produto.

Tabela 2 – Perfil de consumo de cobre no Brasil (mil t)

Segmento de Mercado	2002		2003		2004		2005E	
	CM	MERCADO Brasileiro	CM	MERCADO Brasileiro	CM	MERCADO Brasileiro	CM	MERCADO Brasileiro
Padronizados	14	50	14	60	13	70	20	80
Energia	18	20	18	33	18	38	15	40
Esmaltados	49	60	52	65	50	20	55	64
Telecomunicações	9	11	10	12	9	15	8	13
Outros Fios e Cabos	9	12	10	18	9	20	8	13
Total	99	153	104	188	99	163	106	210
Semi-elaborado	6	120	3	123	14	144	2,6	145
Outros produtos		4		4,5		6		5
Total Geral	105	277	107	315,5	113	312,2	108,6	360

Nota:

CM - Venda de cobre na Caraíba Metais no mercado brasileiro

MERCADO Brasileiro - Consumo no país

Fonte Caraíba Metais, 2005b

2.3 FOCO NA PRODUÇÃO

Por ser produtor de um *commoditie*, o foco na produção é fundamental para a obtenção de custos competitivos assim, a busca para alcançar as metas estabelecidas de produção são perseguidas por todos os empregados da empresa contribuindo para a formação de uma cultura organizacional pela produção. Evidência dessa estratégia pode ser notada no seu sistema de remuneração variável, baseada no atingimento de metas, onde o item produção é de suma relevância e repercute na distribuição variável de todos os empregados da Empresa, inclusive das áreas não produtivas como administrativa, financeira e comercial.

Outro aspecto analisado e merecedor de atenção pela Caraíba Metais é a evolução das importações de cobre na forma de catodo eletrolítico no mercado brasileiro, conforme Figura 2. Faz-se a ressalva que a concorrência internacional é facilitada pela política brasileira que estimula a importação do cobre mediante incentivos fiscais, dificultando a equidade de preços da Caraíba Metais com o importado. Soma-se a esta fragilidade a capacidade insuficiente da Caraíba Metais em abastecer o mercado brasileiro.

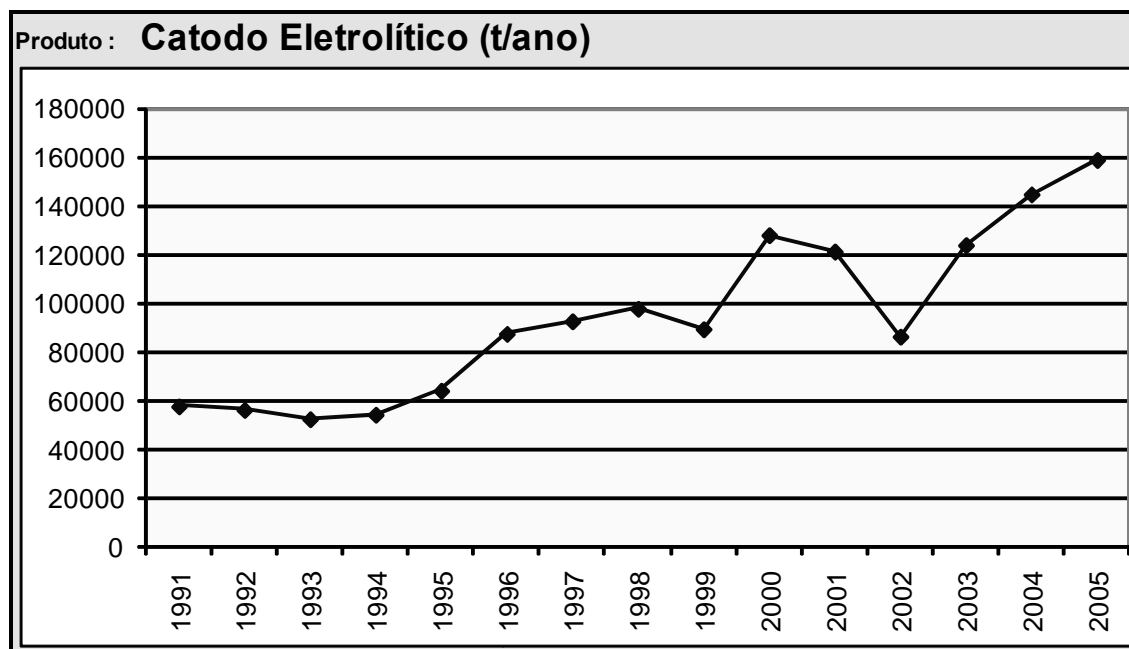


Figura 2 - Importações de cobre na forma de catodo eletrolítico

Fonte Caraíba Metais, 2005b

Face aos aspectos apresentados pode-se julgar que estimular uma produção a níveis de sua capacidade nominal, seja uma estratégia essencial para a Caraíba Metais manter-se no mercado mundial e a custos competitivos em decorrência da diluição de seus custos fixos com uma produção maximizada. Ressalta-se que estas pressões sobre a produção, levam a Caraíba Metais a incluir, há anos, nas suas ações estratégicas, a necessidade de ampliação da planta para aumento de sua capacidade produtiva.

2.4 CUSTOS OPERACIONAIS

Além do foco na produção, a cultura organizacional atenta, também, para os custos operacionais. A competitividade dos custos operacionais da Empresa pode ser confirmada por indicadores de desempenho relatados por organizações internacionais especializadas em divulgar pesquisas sobre o segmento de produção de cobre. As indicações das organizações Brook Hunt em 2005 e CRU em 2000 confirmam a boa competitividade da Caraíba Metais quanto ao custo de produção na área pirometúrgica e margem operacional sem mina própria, respectivamente.

Observa-se a necessidade de certa reserva, cautela, na comparação de custos entre as metalurgias. Como a moeda de conversão é o dólar americano, havendo uma variação cambial representativa da moeda local, país produtor, frente ao dólar a posição da empresa poderia saltar várias posições. A valorização cambial da moeda brasileira, real, frente ao dólar entre os anos de 2004 e 2008 é exemplo típico deste aspecto e representa aumento do custo em dólar por tonelada produzida. A edição Hunt 2008, a ser publicada em 2009, poderá confirmar a alteração no *ranking* da Empresa em decorrência da valorização do real sobre o dólar.

2.5 ENERGIA

A componente energética no processo de transformação do cobre, conforme pesquisas internacionais, especializadas em divulgar os custos operacionais das metalurgias de cobre, está inserida junta a quatro grandes parcelas. A primeira trata dos custos com empregados, a segunda, da energia, a terceira, manutenção e consumíveis e a quarta, outros custos. A parcela de energia gasta no processo de transformação fica na ordem de 21% dos custos operacionais, ou seja, é um processo altamente dependente de energia, conforme Figura 3, e o seu peso só não é maior na Caraíba Metais porque o valor pago pela energia em *Joules* é um dos menores se comparado ao que outras metalurgias pagam em seus respectivos países. Observa-se que o custo com a aquisição de matéria-prima não consta nesta composição. Esta considera apenas os componentes necessários à transformação do minério concentrado até a produção de anodos, etapa pirometalúrgica, que em síntese, significa o tratamento da matéria-prima, fundição, conversão, refino à fogo e moldagem.

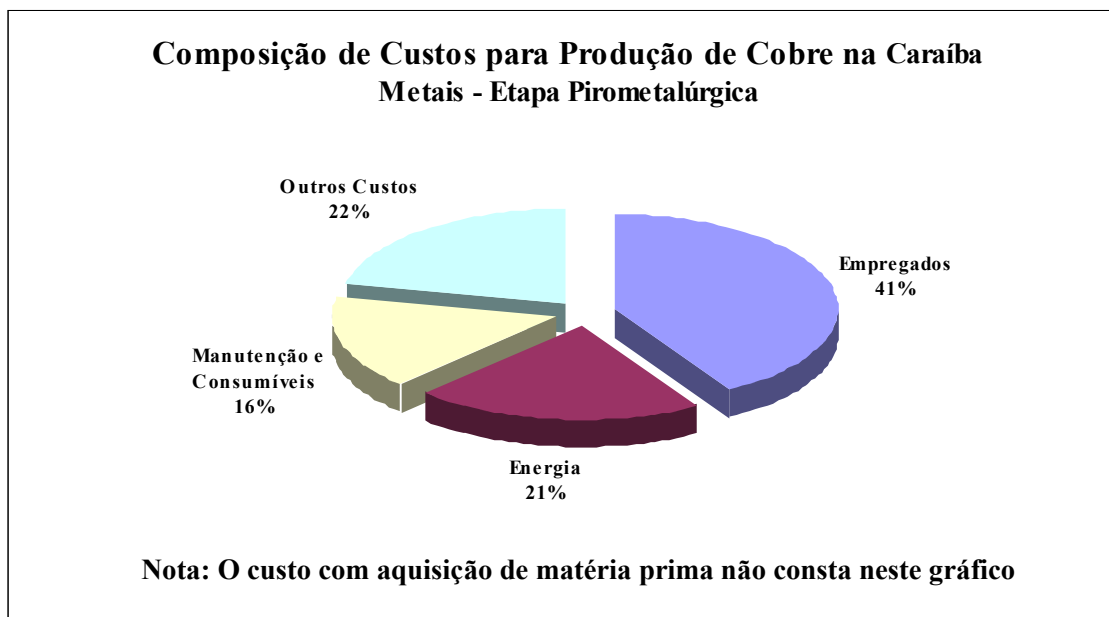


Figura 3 – Composição de custo Caraíba Metais

Fonte: Brook Hunt, 2005

Na seqüência é detalhada a parcela Energia, tema da pesquisa, com o objetivo de mostrar o peso dos combustíveis fósseis, insumo a ser reduzido com o resultado do estudo de caso desta pesquisa que avalia a possibilidade de aproveitamento dos gases de exaustão dos fornos de refinamento a fogo no processo de secagem de escória, resíduo do processo metalúrgico, que atualmente consome óleo diesel em seus fornos de secagem, conforme Figura 4.

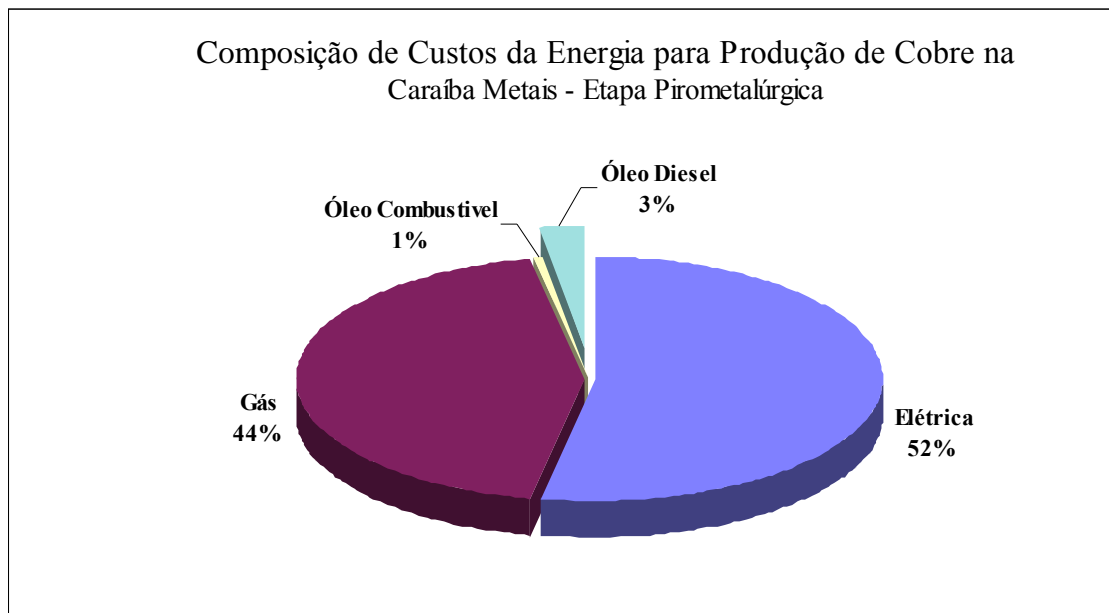


Figura 4 – Composição de custos da energia na Caraíba Metais

Fonte: Brook Hunt, 2005

Quanto às tendências e comportamento do consumo de energia das metalurgias de cobre nas diversas regiões e tecnologias, segundo Brook Hunt (2005), os estudos indicam poucas expectativas na redução para os próximos anos. Enquanto entre 1987 e 2004 o consumo médio entre as metalurgias reduziu significativamente saindo de 4569MJ/t para 2462MJ/t, as estimativas de redução entre 2004 e 2012 se mostram menos expressivas tendendo sair de 2462MJ/t em 2004 para 2335MJ/t em 2012.

As oportunidades decorrem do aproveitamento de gases dos fornos de fusão de concentrados mediante uso de caldeiras de recuperação de calor e nos últimos anos, principalmente, em decorrência do maior uso de oxigênio no processo de fusão do concentrado de cobre, conversão e refinamento a fogo. O uso do oxigênio aumenta a velocidade do processo e reduz a necessidade de introduzir combustíveis fósseis no processo para produção de cada tonelada de cobre. No entanto, o principal recurso para a produção do oxigênio, além do investimento da planta, é a energia elétrica, ou seja, aumenta-se o consumo para uma maior produção de oxigênio.

A Figura 5 ilustra a redução de combustíveis fósseis bem como a diminuição da energia total requerida e a tendência de se manter o consumo da energia elétrica ao longo dos

anos, principalmente, em decorrência da energia elétrica necessária para produção do oxigênio.

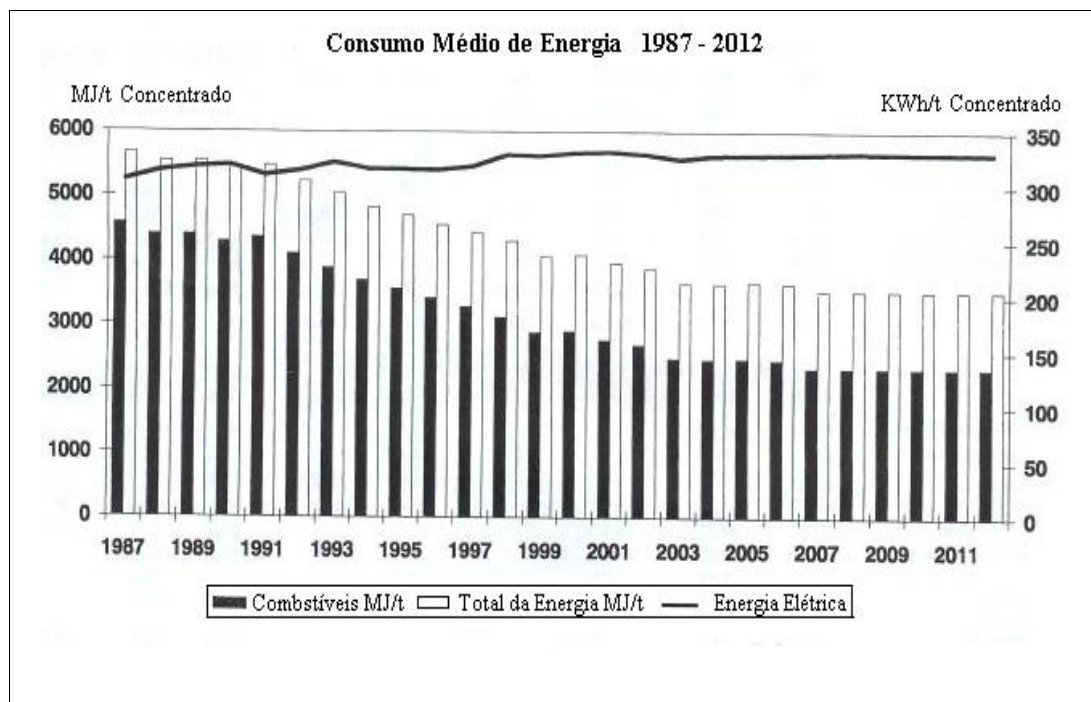


Figura 5 – Consumo de energia e expectativas

Fonte: Brook Hunt, 2005

3 PROCESSO METALÚRGICO

Neste capítulo está apresentado, de forma sucinta, o processo de produção de cobre da Caraíba Metais, desde o recebimento do concentrado, tanto via ferroviário quanto rodoviário, até as etapas de concentração e transformação do cobre na Caraíba Metais.

3.1 RECEPÇÃO E ESTOCAGEM DE MATÉRIA-PRIMA

Para o recebimento e estocagem de concentrados importados, que são transportados por navios, a empresa dispõe no Porto de Aratu de instalações e equipamentos próprios, que permitem uma estocagem estática de 110.000 toneladas. Esta infra-estrutura, interligada por correias transportadoras às instalações da Caraíba, vizinhas ao Porto, compreende um sistema de pesagem e amostragem, silos de carregamentos, galpão de estocagem, prédios de apoio, laboratórios e guaritas.

A Caraíba Metais pode descarregar em dois terminais: no terminal principal, onde o concentrado é levado via correia transportadora, sendo este retirado numa taxa de 7.000t/dia e no terminal secundário, onde o transporte é feito através de caminhões e a taxa de descarga é aproximadamente 3.500t/dia.

Depois de descarregado, tanto via correia transportadora como por caminhão, o concentrado é despejado em uma das oito baias do galpão da Caraíba Metais, localizado no porto. Tais baias possuem capacidade de armazenamento variando em torno de 7.000 a 23.000 toneladas. O concentrado é retirado das baias através das empilhadeiras que carregam os caminhões, levando-o do porto até a metalurgia.

Chegando o concentrado na Caraíba, via trem ou caminhão, ele é colocado em moegas onde é enviado para as baias através de correias transportadoras. Ao todo são dez

baías com capacidade de 4.000t cada, sendo que uma é utilizada para armazenar sílica, outra para o revert e as demais para os mais diversos tipos de concentrado.

3.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Após a armazenagem do concentrado nas baías, este é colocado na moega por meio de pás carregadeiras, de onde é enviado para os silos de *blendagem* através de correias transportadoras. São ao todo sete silos de *blendagem* com capacidade de 700 toneladas cada, onde cinco são utilizados para os concentrados, um para a sílica e outro fica em *standby*.

Os silos são carregados de acordo com o *blend* requerido pelo processo e sua função é dosar a mistura dos diferentes tipos de concentrados, enviando-os através de correias transportadoras de 120t/h para o forno de secagem. Uma vez nos silos é feito então a *blendagem* com uma composição química ideal entre o cobre, o ferro e o enxofre.

3.3 FUNDIÇÃO

Esta etapa do processo é ilustrada a seguir, Figura 6, por ser fundamental ao estudo desta pesquisa e pela contribuição a um melhor entendimento do processo. São apresentadas as etapas de secagem do minério, fusão de concentrado, caldeira de recuperação de calor e tratamento das escórias.

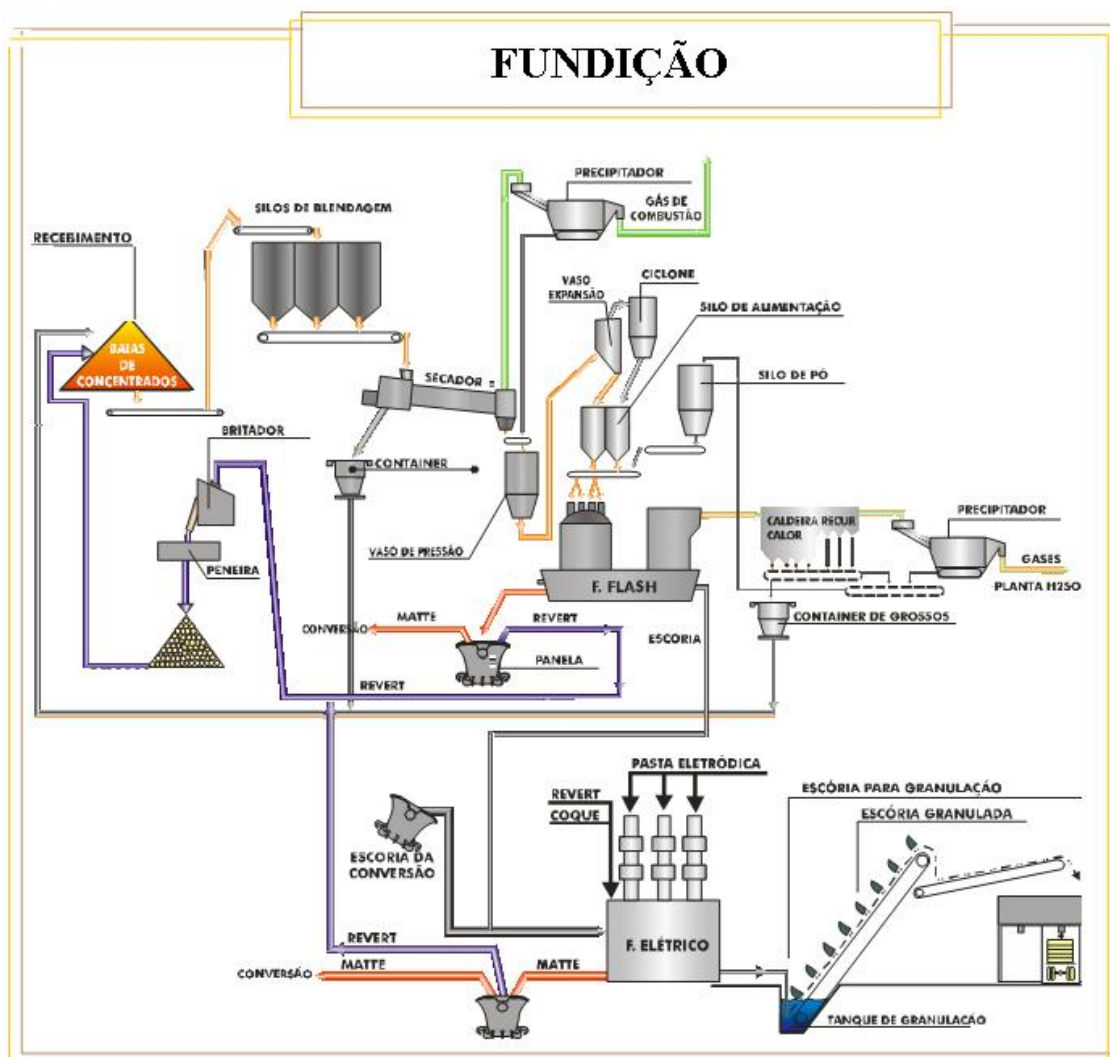


Figura 6 Processo da fundição
Fonte: Caraíba Metais, 2006

3.3.1 Secagem

A mistura, *blend* de concentrado e sílica, contendo 7 a 8% de umidade, passa por um forno horizontal rotativo em contracorrente gasosa a 800°C, com a finalidade de reduzir o teor de umidade da mistura a 0,2%. Saindo do secador, o blend vai para o elevador pneumático, através dos transportadores de arraste, seguindo para o vaso de expansão, onde ocorre a separação entre o ar e o concentrado. O ar segue para o ciclone onde novamente ocorrerá a separação deste com o concentrado residual. O *blend* separado nos dois processos

citados é encaminhado para o silo de concentrado, cuja capacidade é de 400 toneladas, indo posteriormente para o forno *flash*.

O forno de secagem é basicamente um cilindro horizontal rotativo, composto de sistema vibratório de alimentação, câmara interna de combustão alimentada a gás e sistema de recuperação de poeira.

3.3.2 Fusão de Concentrado (*Flash Smelting*)

O principal produto de fusão do concentrado é o Matte. Ele se formará através do contato instantâneo do concentrado com o ar enriquecido com oxigênio, na região do forno conhecido como *reaction shaft*, se transformando em uma mistura de sulfetos metálicos fundidos (Cu₂S e FeS). O ferro e o enxofre contido neste concentrado reagirão com o oxigênio formando a fase escória e o SO₂, respectivamente. A escória é vazada do forno *flash* para o forno elétrico para uma posterior recuperação do teor de cobre contido na mesma. Enquanto que os gases gerados, passam pela caldeira de recuperação de calor, em seguida para o precipitador eletrostático e, finalmente, são reaproveitados como insumo na planta de ácido sulfúrico. Os gases produzidos no processo de fusão (48 mil Nm³/h) no forno *flash* são enviados à planta de ácido sulfúrico na sua composição de 16% de SO₂. O pó coletado nos precipitadores eletrostáticos, que corresponde de 5 a 10% da carga, retoma ao forno flash.

3.3.3 Caldeira de Recuperação de Calor

O vapor gerado na caldeira recuperadora de calor (40t/h) é então utilizado no pré-aquecimento dos gases necessários à combustão. Outra parte é enviada ao Setor de Utilidades, onde a pressão é reduzida para distribuição até as unidades consumidoras, sendo utilizada para aquecer o eletrólito na fundição.

Existe uma caldeira auxiliar que suplementa a produção de vapor desenvolvido na caldeira recuperadora ou, em caso de não operação do forno, abastece a demanda total do complexo.

3.3.4 Tratamento de Escórias

As escórias derivadas do forno *flash* e dos conversores com 1,6% e 5% de cobre, respectivamente, são tratada em forno elétrico por fusão redutora, mediante a adição de coque. A escória granulada é um abrasivo resultante do processo de fusão e refino do cobre,

onde o ferro contido no concentrado se desliga dele ao entrar em contato com o oxigênio. O ferro então se estabiliza formando o silicato ferroso principal constituinte da escória. Como a escória encontra-se líquida e a uma alta temperatura, ela passa por um jato de água onde se solidifica em pequenos grãos, passando por uma secagem e depois pela peneiração obtendo a escória granulada.

A Caraíba Metais vende sua escória para jateamento de superfícies metálicas, sendo mais vantajoso do que os jateadores úmidos. Por serem utilizados a seco possuem características anticorrosivas. Vale ressaltar que a escória não traz nenhum dano ao meio ambiente por ser isento de ferro livre, cloretos livres ou sais solúveis em água.

Os gases formados no forno são lançados à atmosfera, após combustão completa e limpeza úmida em um *scrubber*. As lamas geradas nas lavagens dos gases são enviadas para uma unidade de tratamento de efluentes.

Para efetuar o carregamento dos materiais sólidos, o forno tem incorporado um sistema automático de abastecimento: silos, alimentadores vibratórios e "Trolley" de distribuição às bocas de fornalha.

3.4 CONVERSÃO DO *MATTE*

O principal produto da setor da fundição, *matte*, proveniente tanto do forno elétrico como do *flash* é vazado por bicas em panelas com um teor médio de cobre de 60%. Essas panelas contendo *matte* são encaminhadas para o setor da conversão, onde três conversores tipo sifão são usados para a transformação do *matte* em cobre *blister* (processo de eliminação de enxofre e outros metais).

O processo é por batelada e em duas etapas, usando ar soprado enriquecido com oxigênio. No primeiro sopro, adiciona-se sílica para a formação da escória e no segundo sopro de cobre, utilizam-se restos de anodos do refino eletrolítico carregados no conversor, o que permite um adequado controle de temperatura do processo.

O forno conversor possui uma capacidade de 180 toneladas e é internamente revestido com refratários, que são trocados de acordo com o seu desgaste, cerca de 300 ciclos. Esse forno possui uma boca, por onde entra e sai o cobre tratado e 36 ventaneiras por onde passa o ar enriquecido com oxigênio para alimentar o conversor. Essas são, constantemente,

limpas para não reduzir a entrada da mistura ar oxigênio através de uma máquina especial de limpeza denominada *gaspê*.

Na extremidade do conversor, fica o sifão por onde os gases saem com uma temperatura de 700°C a 800°C, esses gases vão para um resfriador para serem resfriados saindo com uma temperatura de $\pm 420^\circ\text{C}$. Logo em seguida, eles são succionados pelos ventiladores de exaustão, onde são encaminhados para o duto de gás sujo ou para a chaminé, quando o conversor está aquecendo. Indo para o duto, os gases passam pelo precipitador para retirar a poeira contida e na sequência vão para o duto de gás limpo e terminam na unidade de ácido sulfúrico.

3.5 REFINO A FOGO

O cobre *blister* é refinado em dois fornos rotativos, similares aos conversores. O forno de refino é todo revestido de refratário igual aos conversores. Possui duas ventaneiras, uma boca, por onde entra o *blister* e sai a escória óxida, e o bico de vazamento por onde sai o cobre anódico. Sua capacidade é de 287 toneladas. Todo gás produzido nessa etapa é liberado para a atmosfera através da chaminé. O forno possui ainda um incinerador que tem como objetivo incinerar os gases e resfriá-los.

Em síntese, no forno de refino o *blister* vai passar por duas operações a oxidação ou remoção do restante de enxofre contido no blister mediante injeção de ar de processo pelas duas ventaneiras. E a segunda a redução ou retirada do oxigênio do cobre oxidado utilizando gás natural que gera o CO_2 que é canalizado para um incinerador, para ser transformado em CO_2 e ser jogado na atmosfera.

3.6 RODA DE MOLDAGEM

A roda de moldagem possui 28 moldes onde o cobre anódico vai ser despejado em carrinhos e posteriormente, através das calhas de distribuição, enviados para a panela intermediária e distribuídos nas panelas de moldagem.

Cada ciclo da roda leva 40 segundos para ser concluído. Cada molde passará pelo túnel de refrigeração que jogará jatos de água com o objetivo de solidificar rápido o cobre e resfriar os moldes. Em seguida, o pino contido no meio de cada molde é acionado despreendendo o anodo da forma que será puxado e colocado num tanque de resfriamento.

Esse molde é pintado com desmoldante e inspecionado para ser liberado para nova moldagem.

As três etapas anteriores descritas, Conversão de Matte, Refino a Fogo e Roda de Moldagem também são apresentados na Figura 7 devido a relação direta com o estudo de caso desta pesquisa e por facilitar sua compreensão.

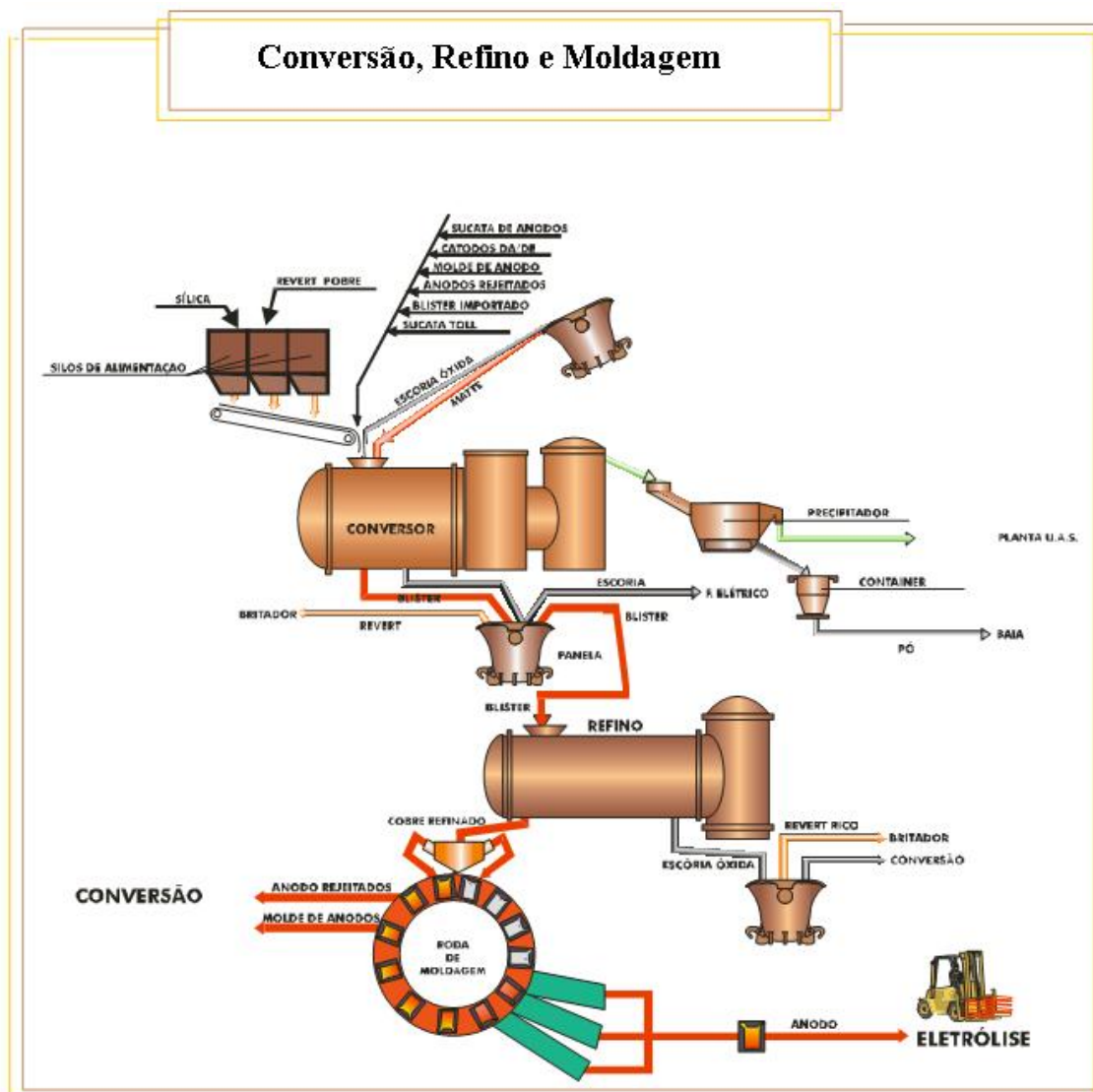


Figura 7 Processo da conversão, refino e moldagem
Fonte: Caraíba Metais, 2006

3.7 REFINO ELETROLÍTICO

O cobre produzido na unidade de fundição sai na forma de anodos, pesando aproximadamente, 355kg e pureza de 99,7%. São transportados para a unidade de eletrólise onde acontece a última fase do processo de refinamento do cobre.

Na eletrólise, os anodos são submetidos ao processo de eletrorefino ou eletrólise, dando origem aos catodos de cobre com pureza de 99,99%. O eletrorefino acontece nas células eletrolíticas onde são distribuídos os anodos oriundos da fundição, chapas de partida e eletrólito. Esses três componentes ligados eletricamente dão origem ao processo de eletrólise onde o cobre metálico dos anodos, se transfere para as chapas de partida, originando os catodos de cobre, produto final da eletrólise.

A unidade de eletrólise compreende as seguintes áreas:

- chapas de partida;
- circuito comercial;
- purificação do eletrolítico;
- tratamento de lama.

3.8 LAMINAÇÃO

3.8.1 Produção de Vergalhão

A produção do vergalhão é feita via processo metalúrgico e mecânico, onde os catodos de cobre que se destinam à produção de vergalhão são fundidos em forno vertical. O material fundido flui por canaletas para um forno de retenção onde se obtém temperatura e fluxo regularizador para a alimentação da lingotadeira contínua. O lingote contínuo moldado na *Hazelett* é alimentado num trem de laminação.

Através de reduções sucessivas no laminador, o lingote é transformado em vergalhão de diâmetro 8 milímetros. Saindo do laminador, o vergalhão passa por um sistema de decapagem ácida para remoção de eventuais camadas de óxido, originado no processo de

laminação. Em seguida, é lavado e recebe aplicação de uma camada protetora de verniz e então, é enrolado em bobinas de 5 t e embalado para expedição.

3.8.2 Vergalhão Oxygen Free

No intuito de agregar valor aos seus produtos a Caraíba Metais instalou uma planta de produção de vergalhão com baixo teor de oxigênio e grande capacidade de trefila chamado de vergalhão *oxygen free*.

Este vergalhão é livre de oxigênio e é obtido através do mesmo catodo utilizado para a obtenção do vergalhão de 8 milímetros. Porém, a etapa de fusão do catodo é feita numa atmosfera livre de O₂. O pouco oxigênio contido no cobre reage com o carvão que está no forno, formando CO e CO₂, que é eliminado por exaustão, conseqüentemente, reduzindo o oxigênio presente. Em seguida, o banho líquido é transportado para uma outra câmara onde irá alimentar os dutos de lingotamento contínuo. Essa alimentação é feita com a pressão do próprio peso do material. O cobre é moldado para cima (*up-cast*) através de um conjunto molde-resfriador que fica submerso na massa fundida. O nível de oxigênio do material fundido é reduzido para aproximadamente 2 ppm. A máquina de retirada impõe um curso bem ajustado que guia o movimento dos cilindros puxadores. Estes por sua vez, puxam continuamente o vergalhão de cobre solidificado a partir da massa fundida, de tal forma que o vergalhão sai da máquina de moldagem no topo da mesma. O vergalhão é bobinado de maneira adequada pelas bobinadeiras que se utilizam de um regulador de velocidade. Coloca-se um sistema simples de lubrificação do vergalhão para facilitar sua posterior trefilabilidade para evitar problemas de oxidação.

3.8.3 Fios trefilados

Visando agregar valor, a Caraíba Metais introduziu em seu processo de produção a trefila, com o objetivo de transformar o vergalhão em fios de 2,5 milímetros. A trefilação funciona basicamente reduzindo o diâmetro do vergalhão de cobre através da passagem forçada por fieiras.

3.9 SUBPRODUTOS

3.9.1 Planta de Ácido Sulfúrico

A unidade de ácido sulfúrico é responsável pelo recebimento e tratamento de todo efluente gasoso proveniente do Forno *Flash* e dos Conversores, ela tem como objetivo transformar o SO_2 , contido no gás, em ácido sulfúrico, que posteriormente pode ser transformado em *Oleum*. A planta de ácido sulfúrico compreende, basicamente, três sistemas: sistema de limpeza de gases, sistema de conversão catalítica de SO_2 e SO_3 e sistema de absorção por ácido sulfúrico.

Purificação: Consiste na passagem do gás pelas torres T1101, T1102 e pelos precipitadores eletrostáticos.

T1101 – Esta torre tem como objetivo, além de retirar as poeiras provenientes dos gases, através de uma névoa de água formada pelos bicos atomizadores, fazer baixar a temperatura do gás de $300\text{ }^\circ\text{C}$ para $60\text{ }^\circ\text{C}$.

T1102 – Esta torre tem como objetivo além de retirar o resto de pó provenientes da T1101, fazer baixar a temperatura do gás de $60\text{ }^\circ\text{C}$ para $40\text{ }^\circ\text{C}$. Esta torre difere da anterior, pois apresenta uns recheios de plástico que fazem com que a poeira, através da injeção de água em contra fluxo, agregue no recheio. Sendo assim, sua eficiência é dependente da limpeza em que se encontram os recheios.

Precipitadores Eletrostáticos: Existem 4 precipitadores, que se encontram em série com a torre 1102. Este precipitador difere do que existe na fundição, pois o mesmo é a úmido, e serve para eliminar o *mist* contido no gás. Estes *mist* são gotículas de poeiras, que após energizados pelo eletrodo são atraídas para as paredes, onde em seguida escorrem e são retirados do equipamento através de purga.

Secagem: O gás chega na T1104 limpo porém úmido, a retirada da umidade é feita através da passagem do gás em contra corrente com o ácido sulfúrico a 98%. Esta torre apresenta uns recheios denominados de cela. O ácido sulfúrico entra por cima da torre e é distribuído pelos recheios, onde saíra com um teor de 95%. No topo da torre são colocados *demister*, para retirada do *mist* formado pela colocação de H_2SO_4 . O *demister* é constituído por uma malha de teflon e de aço inoxidável e possui uma eficiência de 95%.

Reação: Na etapa de reação existem reatores que fazem com que o SO_2 proveniente do gás, com teor de 10%, seja convertido em SO_3 . A entrada de gás é de aproximadamente $210\text{ mil Nm}^3/\text{h}$, onde posteriormente passa por 4 leitos de catalisadores. O

catalisador é o pentóxido de vanádio e serve para agilizar a reação de transformação, a eficiência de transformação do SO_2 é de 95%. Esta etapa de transformação do SO_2 gera liberação de calor, sendo assim, é necessário que este calor seja retirado do sistema, para que a reação continue no sentido de formar SO_3 , portanto, justifica colocar trocadores de calor para retirada desta energia. Existem quatro trocadores que realizam a retirada desta energia. Para uma melhor eficiência desta reação é necessário, também, que SO_3 formado seja retirado. A etapa seguinte descreve tal processo.

Absorção: Sistema de Ácido Sulfúrico - Após a formação do SO_3 , este é enviado para a T1105 e T1106 onde se tem a formação do H_2SO_4 . O ácido é formado através da passagem do SO_3 em contra corrente com o ácido diluído a 95%, proveniente da torre de secagem. O ácido formado apresenta um teor de aproximadamente 98%. A reação de formação do ácido sulfúrico é isotérmica, portanto, é necessária a passagem deste fluxo por trocadores de calor de modo a ter-se o favorecimento da reação, ou seja, garantir a eficiência do sistema

3.9.2 OLEUM

A produção do oleum é feita na torre 1108. Para produzir o oleum utiliza-se o ácido com 98% de concentração, produzido na T 1105, em contra fluxo com uma corrente de SO_3 gasoso. O ácido sofre então uma concentração passando de 98% para 100%, apresentando assim 22% de SO_3 livre no banho. Já pronto, ele é estocado em tanques de aço-carbono com sistema de lavagem de gases e transportado em caminhões-tanque. É um produto altamente tóxico e corrosivo, exigindo cuidados especiais. Utilizam-se também as tubovias para o seu transporte. Esse produto é usado, devido ao seu elevado teor de anidrido sulfúrico livre, na utilização de ácidos fracos e na sulfonação de compostos orgânicos em geral.

3.10 EFLUENTES

Os efluentes provenientes da unidade de metalurgia são do tipo orgânico ou inorgânico, para os quais são dados tratamentos diferenciados. Os efluentes inorgânicos são os provenientes das áreas de processo metalúrgico, os quais são enviados para a Unidade de Tratamento de Efluentes (UTE) para serem parcialmente tratados e enviados posteriormente para a Central de Tratamento de Efluentes Líquidos (Cetrel).

A UTE é, portanto, responsável pelo recebimento e tratamento de todo efluente líquido proveniente das mais diversas áreas da Caraíba, dentre as áreas pode-se citar a unidade de ácido sulfúrico, que é uma das principais áreas responsável por emissão de efluentes. A UTE tem como objetivo retirar o Arsênio (As) e remover os metais pesados do efluente. Para tanto ela utiliza quatro etapas:

A oxidação ou retirada do (As) através de sua oxidação, a neutralização formando arsenato férrico, o espessamento responsável pela decantação do material e filtração onde separa o sólido do líquido presente na lama.

3.11 UTILIDADES

3.11.1 Oxigênio

A planta de oxigênio tem a função de fornecer oxigênio gasoso de pureza 95% para a operação do forno *flash* no enriquecimento do ar de combustão, aberturas das bicas e uso nos conversores.

A planta inclui basicamente um compressor de ar com pós-resfriador de contato direto, trocadores de calor reversíveis, sistema de válvulas, duas colunas de destilação, sistema de absorção do líquido rico, sistema de purga com N_2 , sistema de degelo, sistema de expansão, sistema aquecedor de reativação, tanque de estocagem de oxigênio líquido, tanques de pulmão de oxigênio gasoso de pressão e sistema de vaporização de oxigênio líquido. A capacidade instalada de oxigênio gasoso é de 13 mil Nm^3/h e de $60Nm^3/h$ de oxigênio líquido. O oxigênio líquido estocado em um tanque de cerca de $50m^3$ constitui uma reserva para casos de suspensão da produção de oxigênio gasoso.

3.11.2 Ar Comprimido

A planta de ar comprimido da metalurgia está capacitada em $6.500 Nm^3/h$, consumo médio do projeto. Para suprir este consumo, tem instalado em uma área cinco compressores com capacidade individual de 1.600 a $1.700 Nm^3/h$, sendo um de reserva.

Os compressores tipo êmbolo seco fornecem o ar a uma pressão de $7kg/cm^2$ e são equipados com filtros e silenciadores, resfriadores e ainda toda a instrumentação inerente ao conjunto com dispositivo de segurança. O ar comprimido gerado nesta planta é consumido na metalurgia na forma de ar de serviço e instrumento. O sistema possui dois balões de

armazenagem que permitem na falta de energia suprir as necessidades de instrumentação com ar armazenado.

3.11.3 Casa de Caldeira

Consta de uma planta de desmineralização de água, com capacidade contínua de 160t/h e uma caldeira auxiliar para a produção de 50t/h de vapor saturado com pressão de 6kg/cm^2 . A finalidade da planta de desmineralização é fornecer água para o forno *flash* (41t/h) e para o sistema de produção de vapor da caldeira de recuperação de calor. A caldeira auxiliar recebe o vapor da caldeira *flash* com pressão de 39kg/cm^2 e reduz para 4kg/cm^2 . Com a complementação ao vapor da caldeira de recuperação de calor, compensa-se qualquer flutuação de fluxo no circuito. O sistema de combustão opera com gás natural o que garante o abastecimento de vapor da planta de refino Eletrolítico, quando a operação da caldeira de recuperação estiver suspensa.

3.11.4 Água

Toda água consumida na metalurgia vem de cinco poços artesianos com capacidade média de aproximadamente $120\text{m}^3/\text{h}$ cada um. Esta água, depois de bombeada dos poços, passa por uma estação de tratamento, onde parte é transformada em água potável, parte em água desmineralizada e o restante permanece como água industrial.

3.11.5 Energia Elétrica

A subestação recebe a energia elétrica da Chesf e através de dois transformadores com potência de 21,5 MVA cada um, alimenta toda a unidade metalúrgica. No caso de queda de tensão da Chesf, entra automaticamente um gerador de emergência de 3.250 KVA, capaz de alimentar as principais áreas críticas da unidade.

3.12 CAPACIDADE PRODUTIVA

A seguir é apresentada, na tabela 3, a situação da capacidade nominal de produção da Caraíba Metais.

Tabela 3 – Capacidade produtiva da Caraíba Metais

PRODUTOS	CAPACIDADE
Catodo de cobre eletrolítico	220.000 t
Vergalhão laminado de diam. 8 mm	211.000 t
Fio trefilado de diam. 1,1 a 2,5 mm	12.000 t
Ácido Sulfúrico a 98%	500.000 t
Oleum a 22%	60.000 t
Sulfato de Níquel	300 t
Lama Anódica Decoperizada	600 t
Ouro (na Lama Decoperizada)	2.000 kg
Prata (na Lama Decoperizada)	30.000 kg

Fonte: Caraíba Metais, 2006

4 REVISÃO LITERÁRIA

Este capítulo foi dividido em três partes. A primeira traz a abordagem de programas de eficiência energética no Brasil e no Mundo. Na seqüência, uma revisão de trabalhos realizados pelas metalurgias de cobre no âmbito da questão energética. E por fim, no terceiro capítulo, os aspectos conceituais básicos sobre o tema.

4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E OS PROGRAMAS

A energia está relacionada a todas as formas de recursos naturais, que transformados, são capazes de promover a realização de trabalho. Suas necessidades têm aumentado com o processo de industrialização, em contrapartida, seu esgotamento acelera vertiginosamente, daí o surgimento da necessidade para o aprimoramento e elevação dos níveis de eficiência energética. Este conceito está associado ao crescimento econômico, à produtividade, à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, que visa garantir o atendimento das necessidades atuais das sociedades sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas necessidades. Com ações de "Eficiência Energética", consegue-se otimizar a utilização de energia associada a uma atividade, contribuindo assim, para a redução dos gastos com este insumo, conforme ilustrado na Figura 8. Estas ações, além de trazer benefícios diretos aos usuários, contribuem também para o bem-estar social, pois promovem um alívio aos sistemas de suprimento de energia, contribuindo para redução dos riscos de um racionamento de energia.

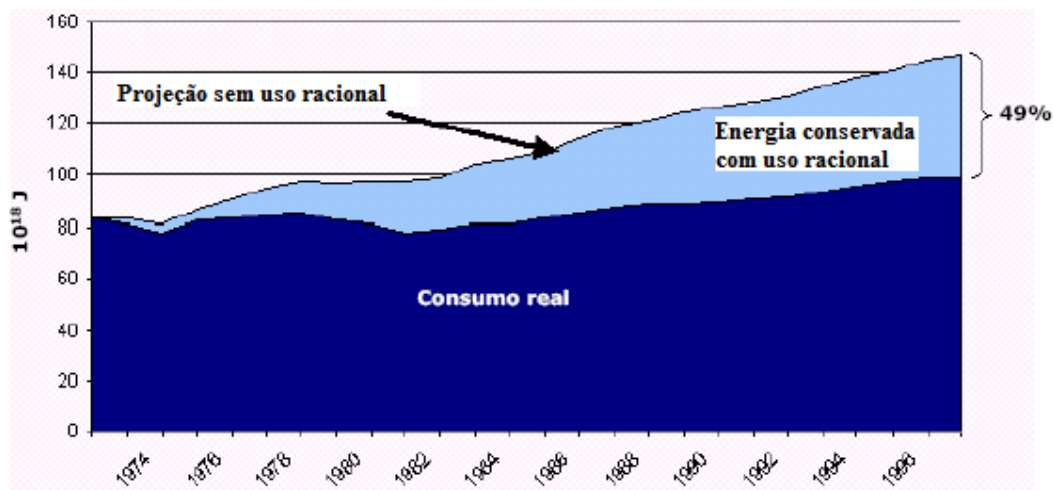


Figura 8 – Energia conservada no mundo

Fonte: Brasil, 2006

A seguir, serão apresentados os principais programas de eficiência energética no Brasil e em outros países bem como as questões ambientais alinhadas aos programas.

4.1.1 No Brasil

No Brasil, a necessidade de conservação e uso mais eficiente da energia surgiram como conseqüência das crises de 73/74 e 79/81 no setor petrolífero. O Conserve foi o primeiro programa de peso com abrangência nacional, criado em 1981 sob a coordenação do então ministério da Indústria e Comércio. Segundo Strapasson (2004), este programa tinha como objetivo estimular a conservação e substituição do óleo combustível consumido na indústria.

Segundo Jannuzzi, Danella e Silva (2004), foram desenvolvidos protocolos que produziram efeitos sobre a eficiência energética de setores como os de cimento, siderurgia e papel/celulose. Entretanto, o que se verificou foi a predominância de um enfoque em termos de substituição energética, em prejuízo da diretriz primordial de conservação de energia. Entre 1981 e 1985, 79% das operações aprovadas pelo BNDES (Conserve) foram de substituição energética, com intensificação do uso da eletricidade. As iniciativas para conservação de energéticos representaram apenas 21%. Isso foi possível devido à recessão econômica ocorrida em 1981, que ocasionou uma redução da demanda por energia elétrica, que possibilitou certa ociosidade da capacidade instalada do parque gerador de energia elétrica no País. Entretanto, depois da retomada da economia, houve um abrupto aumento na

demanda no setor elétrico levando a criação, em 1985, do Programa ao Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (Procel).

Na prática, somente seis linhas de ação foram objeto de programas concretos:

- Etiquetas de consumo em eletrodomésticos mais eficientes;
- Diagnóstico energético, auto-avaliação, e otimização energética em plantas industriais e comerciais;
- Pesquisa e desenvolvimento tecnológico para entrada de equipamentos mais eficientes;
- Iluminação pública mais eficiente, basicamente trocando lâmpadas de mercúrio e mistas por sódio;
- Programas de informação, educação e promoção possibilitando o acesso a informações a todos os níveis da sociedade;
- Legislação e regulação: contribuindo para projetos de lei que regulamentem a conservação de energia.

Paralelamente ao Procel, foi criado o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (Conpet), sob a coordenação da Petrobras e com a participação de representantes do Governo Federal e da iniciativa privada.

O principal objetivo do programa foi incentivar o uso eficiente das fontes de energia não renováveis no transporte, nas residências, no comércio, na indústria e na agropecuária. O programa possui quatro diretrizes básicas (EFICIÊNCIA..., 1999):

- Promoção e difusão com campanhas, eventos, premiações, difusão de novas tecnologias e métodos e elaboração de relatórios;
- Racionalização energética através de revisão de normas técnicas para equipamentos, sistemas e métodos, treinamentos, estratégias para o desenvolvimento, adequação de legislações setoriais, promoção da sintonia entre

programa e políticas industriais, tecnológicas, de transporte e meio ambiente e desenvolvimento de mecanismos que desestimulem ações contrárias ao programa;

- Aumento da eficiência em equipamentos e sistemas com a articulação com outros programas de eficiência energética, pesquisa e desenvolvimento tecnológico, apoio às outras ações de racionalização energética e proposição de mecanismos voltados à comercialização de bens e serviços que contribuam à conservação da energia;
- Regionalização de projetos e soluções, bem como, à elaboração de estudos voltados ao aproveitamento de insumos energéticos locais.

Os resultados apontados, investimentos e economia obtida, demonstram que os programas de eficiência energética são vantajosos em relação à expansão do sistema. Dessa forma devem-se definir procedimentos mais rígidos e padronizados para a apuração e o apontamento dos resultados obtidos, visando dar maior credibilidade ao processo. Verifica-se que os projetos aparentemente interessantes quando avaliados por um critério, podem não ser, sob o ponto de vista do interesse público, tão interessante, quando avaliados mais detalhadamente. Assim, fica evidenciada a necessidade de um planejamento mais criterioso na elaboração de uma Política Nacional de Eficiência Energética e do Plano Nacional de Eficiência Energética que norteie a aplicação dos recursos, garantindo a otimização dos resultados para os consumidores sem se afastar das preocupações ambientais.

4.1.2 Na França

A França desenvolve atividades de eficiência energética através da Agência do Meio Ambiente e da Matriz a Energética (Ademe). Dessa forma, percebe-se uma forte interação entre as políticas ambientais e energéticas francesas. O programa desenvolve três linhas de ação prioritárias. A primeira é a economia de resíduos, a segunda, a poluição do ar e, por último, a matriz energética.

A Ademe (FRANCE, 2005) oferece o seu apoio e desenvolve diversos trabalhos de pesquisa indo desde setores agrícolas, transportes, construção civil e industrial até fomento às energias renováveis e o desenvolvimento como corrente fotovoltaica, combustíveis biológicos e geotermia. Exemplos de trabalhos como a injeção de água nas rochas quentes e

secas a 5.000m de profundidade promissora para a recuperação do vapor faz especialistas se sentirem otimistas por acreditarem que a técnica possa ter uma forte contribuição da geotermia para a eletricidade europeia podendo, futuramente, ser comparável à da energia nuclear, atualmente maior fonte de energia na França.

Além das atividades no nível nacional, a Ademe (FRANCE, 2005) tem demonstrado uma participação elevada nas comunidades europeias e internacionais. De fato, estabeleceu-se uma rede de peritos permitindo-o operar tanto em nações industrializadas como em países emergentes, tornando-se notável no desenvolvimento de políticas e programas relacionados à eficiência energética e meio ambiente. A Ademe é envolvida na execução e na monitoração de acordos internacionais para a promoção de um desenvolvimento sustentável e participa diretamente de vários projetos internacionais. Projetos em grandes cidades asiáticas para a melhoria da qualidade do ambiente urbano ligada à eficiência de energia nos edifícios são desenvolvidos pela Ademe. E em algumas localidades da China, em que as temperaturas no inverno alcançam até - 40° C, um programa controlado pela Ademe e financiado pelo Fundo Francês pelo Meio Ambiente Global (FFEM), suporta a disseminação de medidas de eficiência de energia através da orientação na isolamento térmica de edifícios. Cobre atualmente a construção de 800.000 m² de edifícios de apartamento. Os primeiros edifícios entregues em Harbin mostram que é possível reduzir o consumo de energia para o aquecimento em 50%, para um aumento de custo na construção na ordem de 6%.

O desenvolvimento de serviços da energia em países africanos, onde muitos núcleos rurais não possuem acesso à energia moderna, essenciais para promover o equilíbrio no desenvolvimento de seus países por inibir êxodos rurais é uma prioridade para as ações da Ademe na África. Definiu-se o conceito das companhias de serviços descentralizadas que permite um compromisso a longo prazo a serviços de energia por fontes sustentáveis para núcleos de 10.000 a 15.000 habitantes. Este conceito está sendo realizado, em parceria com investidores em companhias de eletricidade e fabricantes de equipamentos, na África do Sul em Mali e em Marrocos.

4.1.3 No Canadá

Como muitos países do mundo, o Canadá deu início a programas de eficiência energética em meados da década de 70, em decorrência da crise mundial do petróleo. Em 1995, foi criado o *National Action on Climate Change* (CANADA, 2006) coordenado pelo *Office of Energy Efficiency* (OEE), em parceria com o *Natural Resources Canada* (NRCan) Semelhante ao que acontece na França, observa-se a existência de uma forte participação ambiental nas políticas de eficiência energética, principalmente, relacionados à mudança global do clima.

As principais atividades pela OEE são: elaboração de dados, regulação, programas de eficiência energética na indústria, setor público e transportes, normalização de equipamentos, etiquetagem de equipamentos eficientes, orientação de consumidores e um amplo estímulo à construção e reforma de edificações dentro de critérios voltados à conservação de energia.

Vale destacar que o setor energético é um elemento essencial para a economia do Canadá. Contemplado por uma grande diversidade de fontes de energia, incluindo petróleo, gás natural, carvão, potencial hídrico, urânio e biomassa, em 1993, a produção de energia contribuiu em aproximadamente 10% do produto interno bruto canadense. Ao lado da indústria, a energia é a maior fonte de atividade nacional e através de planejamento prudente e uso eficiente da energia, o Canadá espera continuar a ser bem contemplado durante o próximo século.

4.1.4 No Japão

O Japão desenvolve seus programas de conservação de energia através do Centro de Conservação de Energia do Japão – ECCJ, que da mesma forma que França e Canadá, desenvolvem ações sinérgicas às problemáticas ambientais, principalmente, frente às metas de redução de gases de efeito estufa.

São objetivos do ECCJ (JAPAN, 2006a), os usos eficientes da energia, proteção do meio ambiente global e o desenvolvimento sustentável. Estabelece medidas de estímulo ao uso de equipamentos e processos mais eficientes, projetos habitacionais, transportes mais racionais e conscientização da população para a difusão de tecnologias voltadas à conservação de energia, bem como, a redução de desperdícios.

Outro instrumento importante é a utilização do projeto Empresa de Otimização de Energia e Água (Esco) que é uma atividade de negócio em uma base confidencial que oferece serviços de consultoria no uso eficiente da energia e água. Oferece a seus clientes relatórios e exames detalhados abrangendo desempenho previsto do projeto, execução de medidas de conservação, de manutenção, de operação e de gerenciamento dos recursos para a conservação de energia sem prejuízo ao meio ambiente. Este é remunerado pelo cliente através de parte da economia alcançada. Segundo o ESCO (JAPAN, 2006b), os mercados potenciais nos setores comerciais e industriais sugerem economia energética na ordem de 4 bilhões de L/ano, equivalentes de óleo cru, contra investimentos de ¥2,4 trilhões com retorno de 7 anos para os projetos do setor comercial e 4 anos para o industrial.

Também faz parte do projeto Esco, medidas de suporte para conservação de energia, promovendo a cooperação internacional através de programas de treinamento a países asiáticos que é financiado pelo Ministério da Economia do Comércio e da Indústria (Meti) do Japão e é executado pela ECCJ e objetiva realçar a cooperação entre países asiáticos no campo da eficiência e conservação de energia através da disseminação das políticas, conhecimentos, experiências práticas e gerenciamento das atividades desenvolvidas sobre o tema no Japão. Para isso, promove um programa de visita às melhores empresas ou edifícios comerciais com desempenho energético, bem como, proporciona treinamento prático nas plantas experimentais.

4.1.5 No Reino Unido

Logo após a Conferência Internacional das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no estado do Rio de Janeiro em 1992, (ECO 92), o Reino Unido elaborou um programa de governo na área de eficiência energética. Os objetivos do programa se norteiam na conscientização da população, gerenciamento de programas relacionados aos departamentos do meio ambiente, transporte e regiões e no estabelecimento de padrões de desempenho elétrico (UNITED KINGDOM, 2006). Como em outros países, o programa ambiental no Reino Unido, também, exerce forte influência aos programas de eficiência energética.

Merecem destaques algumas atividades do programa como a construção de pequenas plantas de cogeração, implementação de aquecedores de água modernos, controladores de aquecimento e melhorias no isolamento de paredes na construção civil, uso de combustíveis alternativos (programa Powershift), premiações, educação junto às escolas, iluminação eficiente e fomento a empreendimentos que contribuem à conservação de energia. O programa busca orientar as empresas concessionárias quanto a investimentos em projetos de eficiência energética em pequenos empreendimentos e residências.

Outra organização, a *Energy Saving Trust's* (EST), sem fins lucrativos e financiada pelo governo, desenvolve trabalhos sobre o tema e focam dois objetivos. Alcançar o uso sustentável da energia e cortar emissões do dióxido de carbono, um dos contribuintes chave à mudança do clima. Atua nos setores residências, de serviços e público incentivando o uso mais eficiente da energia e a integração de fontes de energia renovável na economia e sociedade. Estimula o uso de combustíveis mais limpos para o transporte, a busca pela melhor eficiência na isolação e aquecimento dos edifícios e promove o uso da energia renovável em pequena escala de fontes solares e vento. Órgão reconhecido como fornecedor chave de informações, ligadas ao tema eficiência energética, desenvolve soluções tecnológicas inovativas e programas para o projeto, a execução e o controle, em nome do governo britânico.

4.1.6 Nos Estados Unidos

Embora o país seja experiente em programas de eficiência energética é o maior consumidor de energia do mundo. O Departamento de Energia Americano (DOE) são os responsáveis pelo programa através do órgão *Energy Efficiency and Renewable Energy Network* (UNITED STATES OF THE AMERICA, 2006). Este é o responsável pelo desenvolvimento de tecnologias e práticas de eficiência de energia, promove o uso de fontes renováveis e a competitividade econômica, a fim de reduzir a dependência estrangeira por combustíveis fósseis, baixar os custos com energia e contribuir para a preservação do meio ambiente.

O DOE também fomenta programas de pesquisa e desenvolvimento na área de eficiência energética e seu gerenciamento pelo lado da demanda e oferta, mesmo assim, o país ainda permanece com um consumo muito elevado e fortemente dependente de combustíveis

fósseis, o que faz dos EUA o maior emissor de gases de efeito estufa do planeta (EFEITO..., 1999). Em 1990, os Estados Unidos respondiam por 36,1% das emissões totais de dióxido de carbono dos países desenvolvidos e do leste europeu, conforme listado no Anexo I do protocolo de Kyoto (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION OF CLIMATE CHANGE, 1997). E a utilização intensiva dos combustíveis fósseis, principalmente nas últimas décadas, mostra um cenário onde todas as previsões convergem para o aumento de concentrações de gases do efeito estufa até o ano de 2100 (A CIÊNCIA..., 2000), tornando a alteração climática uma das maiores ameaças ao planeta, para as próximas décadas.

Vale destacar no programa EERE o desenvolvimento da biomassa que tem como objetivos a redução da dependência ao óleo estrangeiro e a difusão da indústria doméstica de biomassa ou biorefinarias. O uso atual da biomassa se resume, principalmente, no etanol, biodiesel e fonte de energia para processos industriais. Futuramente, acredita-se que as biorefinarias usarão tecnologias avançadas nas áreas químicas e biológicas para a produção biopolímeros.

4.2 ATUAÇÃO DAS METALURGIAS DE COBRE

Serão abordados nesta etapa, trabalhos de melhoria de eficiência energética realizados por metalurgias de cobre nos principais países e regiões produtoras.

A figura 9 ilustra a localização destas metalurgias nos diversos países e a capacidade produtiva de cobre refinado. A capacidade produtiva do país está diretamente associada à dimensão do diâmetro.

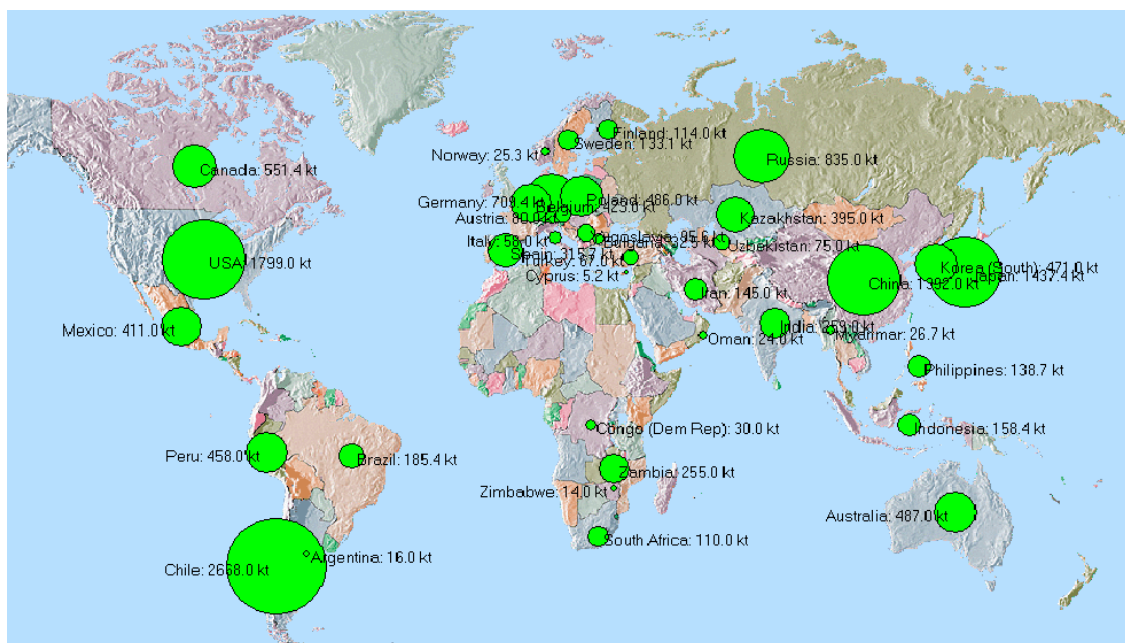


Figura 9 – Distribuição do refino de cobre no mundo

Fonte: Caraíba Metais, 2005b

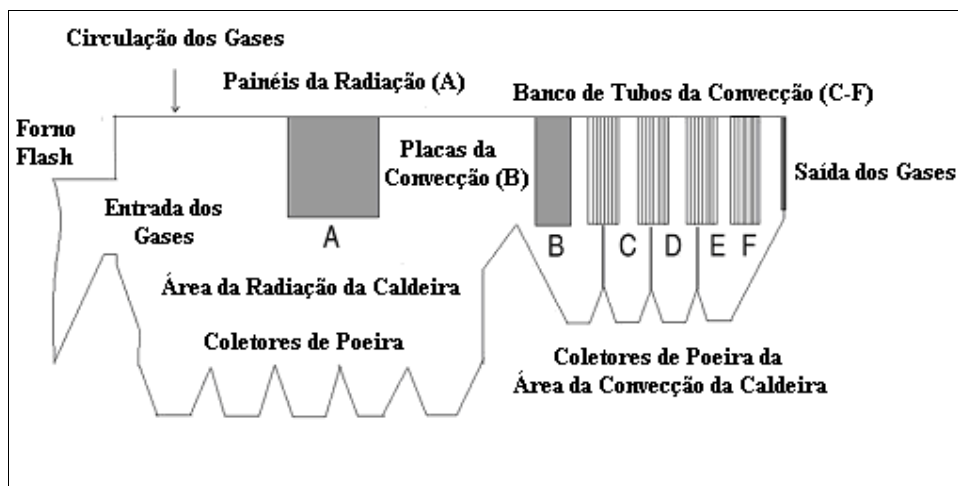
4.2.1 Metalurgia de Cobre de Harjavalta – Finlândia.

Segundo Yang e outros (1999), desde 1993, a Outokumpu vem conduzindo no seu centro de pesquisa, em escala de laboratório, o uso de modelo computacional na dinâmica do fluido, visando melhorar as caldeiras no processo de fusão do minério de cobre nos forno flash.

Os resultados serviram de base para a modificação da caldeira de Harjavalta para atender a necessidade de aumento da capacidade produtiva de anodo de 100.000 t/ano pra 160.000 t/ano e conseqüente aumento no volume de saída dos gases da fornalha de 19.000 Nm³/h para 37.000 Nm³/h. Os resultados indicam melhoria no desempenho, após modificação em junho de 1996.

O esquema da caldeira de recuperação de calor de Harjavalta até 1995 e após modificação está ilustrado na Figura 10.

Antes de 1995.



Depois de 1995

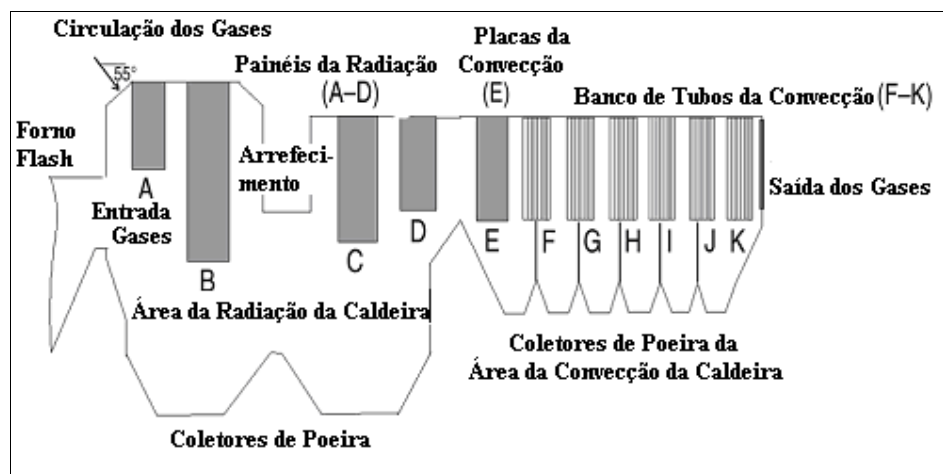


Figura 10 – Caldeira de recuperação de calor antes e depois da modificação

Fonte: Yang e outros, 1999

Antes de sintetizar a mudança, observa-se que as caldeiras de recuperação de calor utilizadas nos fornos flash de tecnologias Outokumpu consistem em uma seção de radiação e uma seção de convecção. Na radiação os gases quentes e a poeira grudenta são rapidamente refrigerados em um grande espaço. A seção da convecção é menor e possui uma forma similar à da radiação. Na parte superior da convecção, bancos de tubos são introduzidos a fim de

absorver eficientemente o calor. A poeira nas superfícies dos tubos é removida, periodicamente, através do uso de martelos molas e um transportador de arraste na parte inferior da caldeira que coleta as partículas que caem e na seqüência são transferidas para a fornalha na forma de reciclagem. As paredes da membrana da caldeira, a parede intermediária da radiação e os bancos de tubos da convecção são resfriados por água e vapor a alta pressão. A energia térmica é recuperada com o vapor saturado ou superaquecido a alta pressão e pode ser utilizada como utilidades no complexo industrial ou como geradora de energia elétrica. As caldeiras são instaladas no alinhamento entre os fornos flash e precipitadores eletrostáticos e refrigeram os gases de 1.200~1.350°C para 350°C. Aproximadamente, dois terços da poeira são assentados na caldeira. Antes da modificação o teto entre as seções da radiação e convecção, conforme figura, era liso. Após modificação, além de novos bancos de tubos para absorver o calor foi implantado um sistema de recirculação de gases a 200°C, oriundos dos precipitadores para a seção da radiação, para refrigerar mais rapidamente os gases quentes e ajudar na remoção da poeira. Foram contidos 150-220 g/Nm³ de partículas sólidas na saída dos gases. Em síntese, a mudança buscou maximizar a eficiência do resfriamento dos gases na caldeira com o incremento de novos tubos e minimização do acúmulo da poeira e sujeira essencial à boa operação e eficiência de troca térmica.

Apesar de não ser possível identificar neste investimento registros positivos no enfoque da eficiência energética, pressupõe-se ter havido um aumento na geração de vapor pelo acréscimo de tubos e eficiência na troca térmica acarretando melhoria na recuperação energética. Além disso, este trabalho oferece oportunidades de se ampliar estudos no campo dos fenômenos do transporte, fluxo de calor, transferência de massa no forno flash, comportamento do gás, poeira e refrigeração pela convecção e radiação. E a adoção crescente do uso de códigos computacionais na dinâmica de fluidos (CFD), nos últimos anos, indica ser esta uma importante ferramenta no aumento da eficiência energética dos processos.

4.2.2 Metalurgia de Cobre de Horne – Canadá

Segundo Metallurgie Noranda Horne Smelter (2006), a metalurgia de cobre Horne implantou em 1995 um sistema de monitoração do consumo energético a fim identificar as áreas da planta onde o consumo era mais elevado. O resultado destes monitoramentos

permitiu a gerência da planta vislumbrar áreas onde os equipamentos operavam em descompasso à produção e áreas onde os equipamentos operavam com baixa eficiência agravando os problemas com picos de carga.

Apesar dos treinamentos e informações operacionais para obtenção da melhor eficiência energética da planta, na prática, poucos praticavam os procedimentos. Muitos fatores restringiam o uso de procedimentos para melhoria da eficiência energética, tais como:

- Dificuldade de transmitir a informação aos operadores pelo envolvimento deles junto à operação de planta;
- Diferenças de opinião entre operadores e supervisores nas ações de eficiência energética a serem adotada;
- Falta de compromisso dos funcionários com as lideranças;
- Outras atividades prioritárias se opondo aos procedimentos.

Diante desses fatos a metalurgia Noranda decidiu implementar um programa de sensibilização e melhoria do comportamento e atitudes dos funcionários para aumento da eficiência energética da planta, abrangendo os seguintes tópicos:

- Certificação de que todos os empregados tenham pleno conhecimento do comprometimento da direção da Empresa com o programa de eficiência energética;
- Confirmação da responsabilidade de todos com a missão energética;
- Conscientização e sensibilização de todos os empregados com os custos relacionados à energia e as possibilidades de economia;
- Informação sobre as ferramentas de monitoramento de energia disponíveis;
- Identificação dos melhores procedimentos operacionais sob o ponto de vista da eficiência de energia;
- Convencimento junto aos operadores para a mudança de seus hábitos;

- Consolidação do método de acompanhamento da execução do programa.

Diversas estratégias foram adotadas para a implantação das medidas. Primeiramente, a direção da empresa comunicou a necessidade da implantação do programa de melhoria da eficiência energética a todos os empregados e, na sequência, certificou-se de sua compreensão. Várias formas de comunicação foram utilizadas para a divulgação do programa. Foram realizadas reuniões das lideranças, junto aos empregados, no início de cada turno para promover a sensibilização para a questão energética e formar uma massa crítica em defesa das problemáticas ambientais, visando mudanças de comportamentos e atitudes. As reuniões foram divididas em duas partes, sendo a primeira, passagem do conhecimento teórico do programa e a segunda, baseada em discussões e trocas de idéias. Os quatro principais tópicos teóricos mencionados na primeira parte diziam respeito aos conceitos básicos em contas da energia e a influência dos picos de carga nas contas, o sistema de monitoração instalado, as curvas de consumo dos principais equipamentos e seu impacto e exemplificação das principais medidas de redução de consumo de energia implementadas na planta.

Os resultados obtidos foram:

- Redução de uso de ar comprimido;
- Redução de energia elétrica na operação dos ventiladores de processo. Após análise da elevação da curva de potência dos ventiladores em determinados momentos, foi descoberto, junto com a operação, que a limpeza da crosta de metal por onde passavam a mistura ar e oxigênio eram realizados inadequadamente. O fato prejudicava a passagem da mistura na reação forçando demasiadamente os ventiladores. A perfuração regular e com barras adequadas permitiu à Horne uma economia com energia elétrica na ordem de US\$ 40.000,00 por ano;
- Equilíbrio na tiragem dos gases produzidos na reação. Balanceamento dos ventiladores de exaustão dos gases do prédio com os ventiladores de transferências de gases para a planta de ácido sulfúrico;
- Alteração da sistemática de operação dos ventiladores de processo da conversão que operavam em paralelo, simultaneamente. Análise dos picos de carga indicou

não ser necessário operar os três ventiladores, bastando dois a plena carga para atender as necessidades do processo. Como a análise de eficiência energética indicou ser mais econômica a operação de dois com a carga de 100% que três a 65%, foi efetuado a alteração no procedimento operacional;

- Sincronização de operação das cargas para reduzir picos de demanda energética.

4.2.3 Metalurgia de Cobre de Kennecott Utah – USA

Segundo a *Office of Industrial Technologies* (UNITED STATES, 2001), em 1980 e 1988, a metalurgia de cobre de Kennecott Utah, promoveu melhorias nos processos relacionados à substituição de queimadores de ar combustível para oxigênio combustível. Esta evolução resultou na redução de 55% da energia requerida no processo, diminuiu a emissão de NO_x e os custos com manutenção do sistema.

O processo de mudança sucedeu em dois momentos. Primeiramente, em 1980, a Kennecott experimentou aplicações nas reações nos fornos substituindo o uso de ar por oxigênio combustível resultando na redução de NO_x e consumo de combustível pela eliminação da carga de nitrogênio associada à combustão com ar.

A segunda etapa do desenvolvimento sucedeu em 1988, após anos de desenvolvimento e pesquisa, com a melhoria do sistema obtido através da injeção de jatos de oxigênio no interior dos fornos a alta velocidade para promover forte recirculação dos gases na reação e produzir melhor combustão entre combustível e oxigênio diluído.

O resultado da segunda melhoria de processo é refletido na economia com manutenção e em uma redução adicional de 80 por cento em emissões térmicas de NO_x pelos fornos de anodo. Entretanto, a segunda etapa não conduziu a economias adicionais de combustível como foi observado na primeira etapa onde se obteve cerca de 55% de redução de combustível.

A Figura 11 ilustra os fornos de anodo da metalurgia de cobre de Kennecott onde está contido o novo sistema de queimadores de oxigênio combustível.

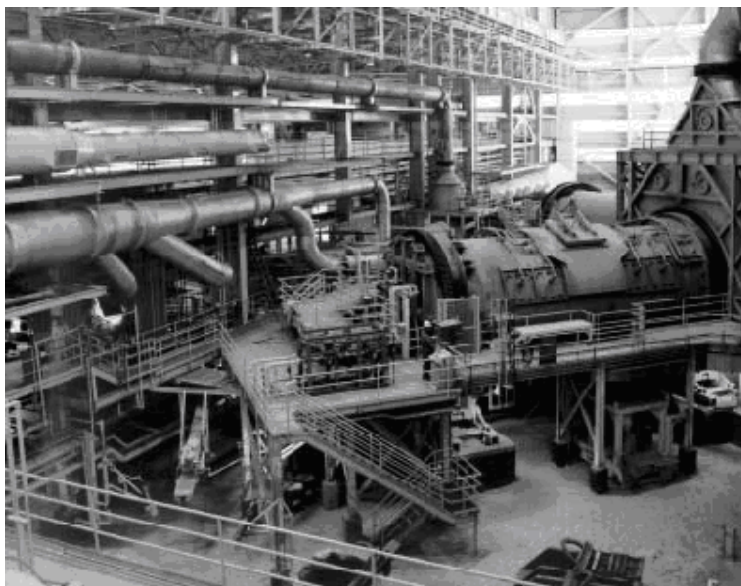


Figura 11 - Fornos de anodo da metalurgia de cobre de Kennecott

Fonte: United States of the America (2001)

4.2.4 Metalurgia de Cobre de Gresik Ore – Indonésia

Segundo Coutrier (1997), a Indonésia tem produzido o minério de cobre desde 1970. Entretanto, o minério sempre foi exportado por falta de investimentos para construção de uma metalurgia. Até que um consórcio entre a *Mitsubishi Materials Corporation*, *Freeport Indonésia Companhia* (Pinta), *Mitsubishi Corporation* e mineração e metais Nippon estabeleceu a *Pinta Smelting Company* para construir e operar a metalurgia de cobre em Gresik, leste de Java, Indonésia.

A aprovação deste projeto estabeleceu diversas exigências técnicas e ambientais. Dentre as três mais importantes, ficou estabelecido a necessidade de introduzir um sistema de produção mais limpo para minimizar o desperdício e otimizar o uso mais eficaz de recursos naturais e de energia.

Os projetos de produção mais limpos estão sendo desenvolvidos e executados nos seguintes temas:

- Aproveitamento das propriedades exotérmicas do processo pirometalúrgico dos fornos, para a produção de vapor e eletricidade mediante caldeiras de recuperação de calor e para a secagem do concentrado de cobre, matéria prima do processo;
- Maximização da continuidade do processo para aumentar a eficiência advinda do menor tempo de processamento, economizando energia;
- Comercialização, venda, do ácido sulfúrico recuperado no processo junto à planta petroquímica de Gresik, eliminando-se a necessidade de importação do enxofre;
- O resíduo produzido do carbonato será emitido à planta vizinha de cimento de Gresik. Conseqüentemente a planta deixará de acumular continuamente o resíduo;
- Utilização de sistema fechado Mitsubishi para evitar emissões residuais indesejadas à atmosfera.

4.2.5 Metalurgias de Cobre do Chile

Segundo Valenzuela e outros (2003), durante os últimos anos, o Chile tem sido o maior produtor de cobre tanto na extração do minério concentrado, bem como na produção do cobre refinado na forma de catodos. A produção é obtida através do processo pirometalúrgico por sete metalurgias. Plantas que passaram por modernizações para aumento da capacidade e atendimento às legislações ambientais chilenas. Apesar de não estar citado diretamente em nenhum programa de eficiência energética, o trabalho apresentado pela Codelco, comissão de cobre chilena e Universidades de Atacama e Copiapó, apresentou inovações tecnológicas nas metalurgias para as soluções de SO₂ e partículas de arsênico.

Por fim, o trabalho de Valenzuela e outros (2003) apresenta um importante acordo realizado em novembro de 2000, entre instituições ambientais e órgãos governamentais, para estimular iniciativas voluntárias de produção mais limpa. O processo contou com o envolvimento das mineradoras e metalurgias de cobre do país. Os objetivos do acordo buscaram a melhoria da produtividade e a competitividade dos setores para promover boas práticas na prevenção da poluição e produção mais limpa dos processos com relação à drenagem ácida da mina, fechamento da mina, uso eficiente da energia e da água e

desperdícios industriais rotineiros. Através deste acordo, estão sendo obtidas informações detalhadas de indicadores do uso da água, energia e da geração de desperdícios. Além disso, os representantes dos setores no Chile e as instituições públicas estão trabalhando em parceria para coletar e disseminar os conhecimentos a fim espalhar as melhores práticas na gerência ambiental, na indústria de mineração e metalurgia chilena.

4.2.6 Metalurgias de Cobre do Japão

Segundo Brook Hunt (2005), poucas empresas aproveitam os gases residuais dos fornos conversores. Diferente dos fornos de fusão, onde 78% fazem uso em caldeiras de recuperação de calor nos fornos conversores, apenas 22% das empresas, ou seja, apenas 10 das 45 metalurgias no mundo utilizam essa carga térmica como fonte de energia em caldeiras. Destas 10 metalurgias 5 estão no Japão e as outras, em cinco diferentes países. E para complementar a estatística, somente uma das seis empresas japonesas não faz uso dos gases residuais dos fornos conversores como fonte de energia em caldeiras de recuperação de calor. Essas estatísticas contribuem para evidenciar a preocupação das empresas japonesas na questão energética e certamente indicam porque as metalurgias de cobre do Japão estão entre as mais eficientes energeticamente.

Poucos trabalhos são encontrados no foco da eficiência energética das indústrias de cobre japonesas que detêm por região o melhor desempenho energético entre as metalurgias de cobre espalhadas ao redor do mundo. No entanto, quando encontrado, ilustram bem os trabalhos desenvolvidos nesta questão, como é o exemplo da metalurgia de cobre de Toyo, Sumitomo. Ela começou sua operação em 1971 com uma capacidade instalada de 860 t/dia de concentrado de cobre. Em 2002 estava com quase 2 700 t/dia e projetava para 2007 alcançar 3 950t/dia. O projeto de expansão desenvolvido foi focado em:

- A. Reduzir custos de produção aumentando a capacidade da metalurgia;
- B. Reduzir os custos com investimentos utilizando a planta existente;
- C. Minimizar riscos operacionais;
- D. Fortalecer a gestão ambiental.

Seguindo esses princípios destacam-se as seguintes melhorias tecnológicas alcançadas e outras em desenvolvimento na busca por melhor eficiência energética da planta.

4.2.6.1 Redução de Combustível no Forno Flash

O forno Flash de Toyo era equipado originalmente com quatro queimadores de concentrado e a geração de poeira ficava em torno de 9%. Em 1982, foi introduzido, no forno Flash, enriquecimento de oxigênio a fim aumentar a produção e diminuir o combustível consumido, no entanto, a geração de poeira subiu para 12% a 14%, aumentando a necessidade de combustível para compensar o calor necessário para a decomposição da poeira. Para reduzir a geração de poeira, a Toyo desenvolveu um queimador de concentrado com melhor desempenho. O progresso do queimador é contínuo e a estratégia baseia-se na pesquisa intensiva do modelo de duas partículas, conduzido pelo laboratório de pesquisa Sumitomo *Metal Mining Niihama*.

Desde 1996, o forno *Flash* de Toyo está equipado por um queimador único de concentrado desenvolvido pela Sumitomo.

O resultado do balanço térmico do forno Flash, indica que comparando 2003 com 1985 o fornecimento de calor pelo combustível fóssil reduziu em 57%. Se comparado o calor pelo combustível fóssil por tonelada de concentrado a redução passa para 78,5% e projetando-se a comparação para 2008 com expectativa de produção de 450 mil t/ano de cobre, após investimentos na expansão, a entrada de calor no forno *Flash* por combustível fóssil por tonelada de concentrado estará reduzida em 97% de 1985, conforme representado na tabela 4.

Tabela 4 - Balanço térmico do forno *flash*

	1985		2003		previsão 2008	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS						
carga de concentrado (t/h)	44,5		90,0		164,6	
geração de poeira (%)	11,8		5,1		4,0	
oxigênio da reação	32,1		49,5		72,1	
teor de cobre no matte	56,0		63,5		65,0	
ENTRADA DE CALOR (GJ/h)						
	GJ/h	(%)	GJ/h	(%)	GJ/h	(%)
calor na produção de matte e SO ₂	80,0	51	172,9	84	382,5	99
calor para decomposição da poeira	-24,1	-15	-22,0	-11	-32,8	-9
calor do minério	2,5	2	5,1	2	10,1	3
calor do ar da reação	17,1	11	15,0	7	8,7	2
combustível fóssil	81,1	52	35,3	17	17,1	4
entrada de calor total	156,7	100	206,4	100	385,5	100
SAIDA DE CALOR (GJ/h)						
calor do matte e escória	45,9	29	103,2	50	209,5	54
calor dos gases	73,1	47	65,4	32	117,4	30
calor da poeira	7,5	5	7,4	4	15,9	4
perdas de calor	24,7	16	25,0	12	33,1	9
outros	5,5	3	5,3	3	9,7	3
saída de calor total	156,7	100	206,4	100	385,6	100

Fonte: Akada, 2004.

4.2.6.2 Redução de Energia Elétrica na Planta de Ácido Sulfúrico.

Registram-se dois patamares de redução no consumo de energia elétrica da planta de ácido sulfúrico. A primeira no período de 1985 a 1990, onde foi atingido uma redução de cerca de 30% no consumo em relação a 1985, por medidas de aumento na eficiência no absorvedor 1, com a redução da temperatura ácida interna e concentração de ácido na tomada do absorvedor e pelo aumento na taxa de oxidação no conversor O₂/SO₂ com aumento na temperatura de catalização no conversor. O segundo patamar de redução ocorreu de 1999 a 2003, com a queda de mais 20% de consumo sobre 1985, principalmente, devido a implementação de um novo sistema de limpeza de gases.

4.2.6.3 Recuperação da Energia Exaurida e Fortalecimento no Sistema de Cogeração

Com a conclusão do projeto de expansão da planta para 3.950t/dia de concentrado de cobre três melhorias estavam previstas para aumento da eficiência energética da metalurgia.

a) Instalação de uma caldeira na planta de ácido sulfúrico

Como a conversão do SO_2 ao SO_3 é uma reação exotérmica, há um calor adicional considerável gerado no conversor. Na linha velha, este calor adicional, 6,7GJ/h, é removido no gás de processo à atmosfera pelo uso do intercooler e do refrigerador de SO_3 . Na nova linha de ácido, um economizador em vez do refrigerador de SO_3 e uma caldeira, em vez do intercooler, foram instalados. Este sistema gera 12 t/h de vapor para o sistema de coogeração.

b) Instalação de forno secador de concentrado a vapor

Para atender o aumento da capacidade da metalurgia e conseqüente acréscimo de concentrado seco a ser introduzido no forno flash foi projetado adicionar à planta um secador giratório a vapor. Por utilizar vapor gerado na planta, não há nenhuma necessidade de consumo de óleo, gás ou carvão. Como resultado para secagem de 240t/h de concentrado em dois fornos, espera-se uma redução de 26% de energia comparada ao consumo do secador existente de 115t/h.

c) Instalação de uma nova turbina geradora de energia elétrica.

Com o aumento de produção de cobre para 450 mil t/ano o vapor gerado na planta aumenta de 68t/h para 90 t/h. Como o gerador da turbina existente é de 8.700 quilowatts, o vapor adicional gerado seria despejado sem aproveitamento na geração. A fim de evitar o desperdício deste vapor, um novo gerador, com 10.200 quilowatts, foi adquirido.

4.2.7 Metalurgia de Cobre de Dias d'Ávila, Caraíba Metais – Brasil

O principal projeto implementado em prol da redução de custos operacionais com a energia deu-se em 2001, quando a metalurgia aproveitando a oferta e preços atrativos do gás natural do país, em comparação ao óleo bruto, promoveu mudanças em seus processos substituindo o uso de óleo bruto por gás natural. O objetivo não estava centrado na redução do uso de recursos energéticos, e sim, na redução de custos que o gás propiciou em decorrência

do menor preço. Mais dois projetos são relatados a seguir, no entanto, também, não estão vinculados à redução de recursos energéticos.

O primeiro foi na década de 80, em decorrência da crise e altos preços do petróleo a Caraíba Metais passou a produzir combustíveis na forma de gás e alcatrão a partir da queima de madeira para alimentar o processo de secagem do minério concentrado em substituição ao óleo bruto. Posteriormente, com a estabilização da crise, voltou a consumir óleo bruto. Atualmente, conforme mencionado, utiliza gás natural.

A outra implementação deu-se em 2001, durante a crise de oferta de energia elétrica no Brasil. Levou a Caraíba Metais a instalar um sistema de geração de energia elétrica para complementar as necessidades da planta, em decorrência dos limites de consumo de energia elétrica impostos pelo governo brasileiro no período da crise. A solução foi adquirir um turbo gerador, usado, dos Estados Unidos a partir da queima de gás natural para produção de 17MW de potência. O sistema montado para períodos de contingências operou apenas alguns meses, até a normalização das cotas de energia elétrica no Brasil.

Além dessas realizações, em 1993, a Caraíba Metais desenvolveu em parceria com a Empresa P & M, especializada no ramo, diversos estudos de otimização energética da planta. Destacam-se os estudos:

a) Secagem solar da lama de gesso

Segundo Torres (1993a), foi desenvolvido experimentos para secagem de lama de gesso, resíduo sólido proveniente da Unidade de Tratamento de Efluentes (UTE) da Caraíba Metais, a partir de um sistema solar composto por dois módulos 4,0 m x 1,0 m cada, perfazendo uma área de exposição de 8,0 m², com geometria semi-cilíndrica coberta em plástico transparente. O objetivo do experimento foi secar a lama do estado inicial em torno de 45% e 60% para 20% após exposição ao sol durante um dia. O ganho econômico seria advindo da redução do resíduo gerado de lama e conseqüentemente diminuição com custos junto a Central de Tratamentos de Efluentes para disposição do resíduo.

b) Diagnóstico energético na geração e distribuição de vapor

Foi desenvolvido levantamentos e análise no sistema de geração e distribuição do vapor e retorno de condensado da Caraíba Metais. Segundo Torres (1993b), mesmo com

dificuldades, foi possível identificar os principais problemas e propor sugestões e recomendações no sentido de melhorar as condições de operação do sistema de geração e produção de vapor. A tabela 5 resume, sinteticamente, o potencial dos benefícios, estimados, da otimização da geração e distribuição do vapor na Caraíba Metais.

Tabela 5 – Resumo dos benefícios estimados em US\$/ano

Descrição do sistema (síntese)	Benefícios estimados US\$/ano
• Trocador de calor do Ar de combustão TRC-522-01	124.000,00
• Turbina a vapor TU-524	346.000,00
• Tubulão da caldeira	4.300,00
• Perdas no tanque TQ-685-01	5.500,00
• Caldeira auxiliar	46.000,00
• Perdas por vazamentos	25.000,00

Fonte: Relatório Elaborado pela P & M – (Torres, 1993)

Por fim, destaca-se um projeto importante para a garantia operacional da planta, pois protegeria a Caraíba Metais contra ameaças de instabilidade no fornecimento, conforme racionamento imposto no país em 2001. O estudo consistia em construir uma usina hidroelétrica para a produção de energia elétrica própria nos quais os objetivos estavam centrados na:

- Geração de energia elétrica a baixo custo;
- Garantia de fornecimento de energia elétrica.

4.3 ASPECTOS CONCEITUAIS

Nesta etapa serão elucidados conceitos de energia e de tecnologias para melhoria do processo pirometalurgico no sentido do aproveitamento da energia térmica dos gases residuais da planta.

4.3.1 A Energia

Desde os primórdios o homem necessitou da energia para viver. O estudo remonta à Grécia Antiga onde Aristóteles já fazia referências a ela. Para ele, a energia era uma “realidade em movimento”. A partir dele, vários pesquisadores tentaram redefinir ou aprimorar o conceito de energia. Mas, somente no século XVII d.C., com René Descartes, surgem os primeiros estudos sobre energia potencial e energia cinética com Gottfried Wilhelm Leibnitz. Em 1687, Isaac Newton realiza descobertas revolucionárias sobre gravitação e movimento, mas o conceito de calor ainda permanecia uma incógnita (SIMMONS, 2002).

No século XVII, Jean lê Rond D’Alembert concilia e aperfeiçoa as definições sobre energia potencial realizadas por Descartes e sobre a energia cinética elaborada por Leibnitz. Na mesma época, Antoine Laurent de Lavoisier demonstrou que, apesar da mudança de estado da matéria durante um processo de reação química, a massa permanece inalterada do começo ao fim. Contribuiu assim, com evidências em favor de estudos das leis de conservação.

Na seqüência, em 1824, Nicolas Leonard Sadi Carnot desenvolve as primeiras relações entre calor e trabalho contribuindo para Rudolf Clausius, em meados do século XIX (ALBUQUERQUE, 1988). Os estudos de Rudolf Clusis e outros cientistas culminaram no estabelecimento das leis fundamentais da termodinâmica, ciência que trata das transformações da energia. Seus princípios desempenham papel importante na física, química, meteorologia, engenharia e outras disciplinas científicas já que a mudança de energia faz parte dos fenômenos naturais e processos físicos. As leis mais importantes da termodinâmica são:

- Primeira Lei: a energia não pode ser criada nem destruída e sempre se conserva de uma forma a outra;
- O conceito da primeira Lei de um processo de conversão de energia é extremamente útil para se poder avaliar e melhorar a eficiência energética de equipamentos de usos finais, conforme observado nos estudos de Geller (1991), Patterson (1996) e Warren (1999);

- Segunda Lei: determina o limite da possibilidade de transformação de calor em trabalho, servindo de base para este conceito;
- A segunda lei não contraria a lei de conservação da energia, porém, estabelece que nem todo calor transferido de um corpo pode ser transformado em trabalho.

Fazendo-se, ainda, um breve paralelo entre as leis da termodinâmica e perspectivas ambientais sobre o tema recursos naturais para conversão de energia, segundo Costa (2002), as leis da termodinâmica limitam a eficiência do uso de energia e materiais nos ecossistemas. A primeira estabelece que os recursos são finitos e a segunda, que as transformações destes geram entropia e estas sempre aumentam.

Retomando a conceituação da energia, esta é amplamente definida como a medida da capacidade de realizar trabalho e se aplica perfeitamente à mecânica clássica, no entanto, apresenta restrições determinadas pela segunda lei da termodinâmica no tocante a transformação de calor em trabalho. Segundo Nogueira (2001), em 1872, James Maxwell propõe uma definição mais completa do que as anteriores: “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança”.

A termodinâmica interpreta a entropia como uma medida da irreversibilidade dos processos físicos. Exemplifica um processo no qual o sistema sai de um estado inicial a um estado final, enquanto troca energia sob as formas de calor e trabalho. Poderá ser considerado reversível se o processo for operado do modo inverso e ao ser revertido não deixar vestígios sobre o meio. Mas, se não for possível a reversão, uma parte da energia sob a forma de trabalho é transformada em calor, ocorrendo uma perda definitiva da capacidade do sistema de produzir trabalho. Essa geração de calor impacta diretamente no aumento de entropia.

Pensamento semelhante é encontrado nos autores Smith e Van Ness (1987), pois interpretam que o aumento de entropia total que acompanha um processo real, é uma medida de perda da capacidade do sistema realizar trabalho. Concluem que “quanto maior for o aumento de entropia total, tanto maior será a quantidade de energia que se torna inaproveitável para o trabalho. Por isso toda irreversibilidade leva consigo um certo prejuízo”.

Um outro conceito importante é a exergia. Segundo Kiperstok e outros (2002), existem muitas definições para exergia. Entre elas citam-se:

Para Rant, exergia é a parte da energia que pode ser completamente convertida em qualquer outra forma de energia (SZARGUT, 1998). Exergia pode ser destruída, ao contrário da energia, e o seu consumo é proporcional a entropia gerada devido às irreversibilidades associadas ao processo. Além de sugerir a palavra Exergia, Rant, também, propôs a palavra Anergia, para denominar a parte da energia que não pode ser aproveitada, isto é:

$$\text{Energia} = \text{Exergia} + \text{Anergia}$$

Portanto, energia é a soma do que pode ser aproveitado (exergia), parte nobre da energia com a parte que não se utiliza (anergia). Em outras palavras, é a parcela que pode ser convertida em calor e/ou trabalho.

Para Wall (1990), a exergia pode ser definida como trabalho ou capacidade de realizar trabalho, conservando-se em processos reversíveis e sendo consumida em processos irreversíveis (reais).

Segundo Kiperstok e outros (2002), as ineficiências de um processo são mais bem verificadas numa análise de exergia do que numa análise de energia. Nela, os tipos, as causas e a localização das perdas são identificados e quantificados, ou seja, a análise exérgica identifica clara e diretamente todas as limitações no melhoramento da eficiência com relação a um verdadeiro ideal termodinâmico.

Para calcular a exergia é necessário que se defina qual é o estado de referência, para que se possa ter base sobre quais são os valores adotados. Segundo Szargut (1988) e Kotas (1985), a exergia pode ser dividida em quatro partes: cinética, potencial, termomecânica ou física e química.

$$Ex = Ex_c + Ex_p + Ex_f + Ex_q$$

Ainda por conveniência a exergia física com a exergia química pode ser chamada de exergia térmica:

$$EX_t = EX_f + EX_q$$

4.3.2 Conceituação de integração de processos para melhoria da eficiência energética.

Na indústria metalúrgica, muitas correntes de saída possuem cargas térmicas elevadas e assim, têm que ser submetidas a trocas térmicas com fluidos de refrigeração. Por outro lado, outros processos exigem que as suas massas sejam aquecidas. Para tanto, usam-se fornalhas, ou vapor. Dessa forma, tanto para o aquecimento como para o resfriamento, consome-se energia. Se o calor residual de um processo puder ser aproveitado para aquecer outro, que precisa ter sua carga térmica aumentada se consegue um duplo ganho, tanto econômico como ambiental. A Integração de Processos é uma forma eficiente da indústria aumentar sua produtividade, através da redução no consumo de energia, água e matéria-prima, redução em emissões de gases e na geração de rejeitos, além de estar fortemente alinhado às questões ambientais.

Integração de Processos (IP) é um termo surgido nos anos 80 e tem sido extensivamente utilizado a partir dos anos 90, para descrever certas atividades orientadas para um sistema, no contexto dos processos químicos. Este termo pode assumir diversos significados. Ele pode ser aplicado para um simples trocador de calor que recupera energia de uma corrente de produto em um processo, para a recuperação de calor rejeitado de um sistema e entre outras aplicações para a integração completa de um complexo industrial. A definição da Integração de Processo usada pela Agência Internacional de Energia (International Energy Agency) é:

Consiste de Métodos Gerais e Sistemáticos para o Projeto de Sistemas Integrados de Produção, desde Processos Individuais até Complexos Industriais, com ênfase especial no Uso Eficiente da Energia e na Redução dos Efeitos ao Meio Ambiente (UNITED STATES OF THE AMERICA, 2001).

A definição está bem próxima da Síntese de Processos, que é outra área orientada para o sistema. A Integração de Processos e a Síntese de Processos pertencem à engenharia de processos, grande área que aplica princípios da engenharia de sistemas aos processos químicos e correlatos.

As áreas mais comuns onde são aplicadas as tecnologias de integração ou síntese de processo são:

- Planejamento, projeto, operação de processos e sistemas de utilidades;
- Novos projetos e projetos de melhoramentos de processo (Retrofit);
- Melhoria da eficiência no uso da energia e matéria-prima aumentando a produtividade;
- Desengargelamento;
- Processos contínuos, bateladas e semi-contínuos;
- Todos os aspectos dos processos, como reatores, separadores e rede de trocadores de calor;
- Integração entre o processo e sistema de utilidades;
- Integração nos complexos industriais e entre estações de energia e sistema de aquecimento/resfriamento;
- Características operacionais de processos (flexibilidade, controlabilidade e resiliência);
- Minimização de efluentes aquosos e de água em processos;
- Vários aspectos na redução de emissões.

Na seqüência serão abordadas áreas com potencial de aplicação ao processo pirometalúrgico da Caraíba Metais. A melhoria de processo (Retrofit), com o objetivo de reintegrar correntes quentes a outros processos da planta, a produção de água gelada para sistemas de resfriamento de ambientes mediante sistemas por absorção e geração de vapor para reintegrar ao sistema de utilidades ou produzir energia elétrica.

4.3.2.1 Correntes integradas termicamente

A crise de petróleo dos anos 70 obrigou os centros de pesquisas e empresas a investirem no desenvolvimento da Integração de Processos a partir de metodologias de

integração energética. Tornando-se, hoje, ferramenta fundamental para as indústrias, ou seja, a principal estratégia para a tecnologia de planejamento e de projeto. Com esta tecnologia é possível reduzir significativamente o custo operacional de plantas existentes, enquanto os novos processos podem ser projetados com redução nos custos operacionais e de investimento.

O trabalho que traz a revisão mais completa é o de Gundersen e Naess (1988). Este apresenta o estado da arte dos métodos de síntese de Rede de Trocadores de Calor até o ano de sua publicação. Poucas publicações posteriores apresentam novidades sobre o assunto. Os métodos desenvolvidos para a síntese de Rede de Trocadores de Calor podem ser classificados em dois grandes grupos. O primeiro deles utiliza técnicas matemáticas de programação linear e não linear. O segundo utiliza conceitos termodinâmicos somados a regras heurísticas, cujo grande expoente é a Análise Pinch. A Análise Pinch não é muito antiga, mas sua história começa com a preocupação de alguns pesquisadores em minimizar o consumo de utilidades no setor industrial.

Segundo Ravagnani (1994), em 1971, Hohmann, em sua tese de doutorado, introduziu o critério do consumo mínimo de utilidades antes da síntese da rede, o que trouxe uma contribuição muito grande nos estudos da Análise Pinch. Após esta data, muitos outros trabalhos foram feitos na área da síntese de redes de trocadores de calor, mas só em 1978, é que foi apresentado um método de conceituação termodinâmica denominado “energia disponível”. Foram apresentados pontos em gráficos de temperatura contra energia, e um ponto específico denominado “Pinch Point”, que permitia prever a mínima área para uma rede de trocadores de calor.

Depois, foi-se aperfeiçoando cada vez mais os trabalhos sobre integração energética. Mas sem dúvida, a Análise Pinch teve seu auge do desenvolvimento entre o final dos anos 70 e o final dos anos 80, principalmente com Linnhoff (1993) e seus colaboradores, na Universidade de Manchester, Reino Unido.

Portanto, a Análise Pinch consiste em determinar o consumo mínimo de utilidades quentes e frias, a área mínima de transferência de calor, número mínimo de trocadores de calor e a síntese e otimização da rede, incluindo o custo global anual mínimo.

Em decorrência da crise mundial do petróleo e necessidade de redução dos custos para aumento da competitividade, as questões relacionadas à recuperação de calor em

processos, através da síntese de trocadores de calor, é o campo de estudo onde ocorrem os maiores avanços no contexto da engenharia de processos.

Ainda na divisão do estudo envolvendo redes de trocadores de calor destaca-se o reprojeto (retrofit) mais pertinente à nossa pesquisa já que se aplica a redes ou plantas existentes. Nos dias de hoje, o projeto de novos processos já levam em consideração os conceitos sobre integração energética ao contrário dos anteriores à crise do petróleo.

Com o intuito de reduzir o consumo energético, esses processos devem sofrer algumas modificações estruturais (retrofit), que por sua vez representam aumentos no custo fixo (novas áreas de troca térmica, novas tubulações etc.). Este comportamento é fruto do compromisso entre os custos operacional e fixo.

Trabalhos como os de Linnhoff e Withrell (1986) e Tjoe e Linnhoff (1986), voltados para o retrofit de redes existentes, são publicados desde a década de 80, a maioria, utilizando as ferramentas da abordagem termodinâmica da heurística evolutiva. Na década de 90, alguns trabalhos baseados na abordagem técnica de otimização foram desenvolvidos como o de Ciric e Floudas (1990) e mais recentemente o de Mizutani (2002), os quais utilizam o conceito de superestrutura e resolvem o modelo formulado por programação não-linear inteira mista. Alguns outros trabalhos como os de Asante e Zhu (1996) e Briones e Kokossis (1996) propuseram métodos que combinam ferramentas das duas abordagens, o que diminui a complexidade da formulação, mas não elimina os problemas numéricos, típicos destes métodos.

Uma melhor visualização de como estão relacionados o diferencial mínimo de temperatura (DMT), a quantidade mínima de utilidades fria e quente e a região de integração, pode ser obtida no diagrama das curvas compostas. Também é uma alternativa de se determinar as metas de consumo mínimo de utilidades quente e fria através de um procedimento gráfico.

Para construir as curvas compostas no diagrama de temperatura (t) e entalpia (h), considera-se que o valor zero de entalpia corresponde à menor temperatura da curva composta quente e os valores subsequentes de entalpia são calculados somando-se ao valor anterior, o valor da quantidade de energia dos intervalos, definidos apenas pelas correntes quentes. Para a curva composta fria, o valor de entalpia da menor temperatura é igual ao consumo mínimo de utilidade fria e os intervalos são definidos pelas correntes frias. Os pontos assim são gerados e

inseridos no diagrama onde a corrente quente (ccquente) é a curva composta quente e a curva composta fria (ccfria), a quantidade mínima de utilidade fria (QFmin) e a quantidade mínima de utilidade quente (QQmin). No Diagrama das Curvas Compostas, o ponto onde as curvas mais se aproximam, é o Ponto de Estrangulamento Energético - PE do problema, e a diferença de temperatura entre as duas curvas no PE é igual ao DMT. A região onde as duas curvas estão presentes é a chamada região de integração energética. No limite esquerdo onde somente está presente a curva quente, tem-se o consumo mínimo de utilidade fria, enquanto no limite oposto, o consumo mínimo de utilidade quente. Nesse diagrama pode-se também avaliar rapidamente o que acontece quando o DMT aumenta. Como os coeficientes de transferência de calor permanecem constantes e o seu inverso está diretamente relacionado aos coeficientes angulares das curvas compostas, há um deslocamento para esquerda da curva fria sem que ela mude de inclinação. Isto implica em um aumento, no mesmo valor absoluto, dos consumos das utilidades quente e fria. Desta forma, constata-se que o consumo de utilidades está diretamente relacionado ao valor do DMT. Quanto maior este, menor a integração entre correntes quentes e frias e maior o consumo de utilidades. Por outro lado, o aumento do DMT faz com que a área de troca térmica dos trocadores diminua reduzindo o seu custo. Logo, deve haver um valor ótimo de DMT que forneça o menor custo total, representado pelo somatório dos custos fixo e operacional.

Com base no que foi exposto, verifica-se a alternativa de se determinar as metas de consumo mínimo de utilidades quente e fria através de um procedimento gráfico conforme apresentado na Figura 12. Basta admitir que, para a curva composta fria, o primeiro valor de entalpia será zero e não mais um determinado valor correspondente ao mínimo de utilidade fria. Ao se construir as duas curvas compostas, elas apresentarão regiões de inviabilidade de troca significando que não é possível uma integração energética. Deve-se, então, deslocar a curva composta para a direita (aumento do DMT) até que a maior aproximação entre as curvas corresponda ao valor do DMT específico. Neste ponto faz-se a leitura dos valores de QQmin e QFmin.

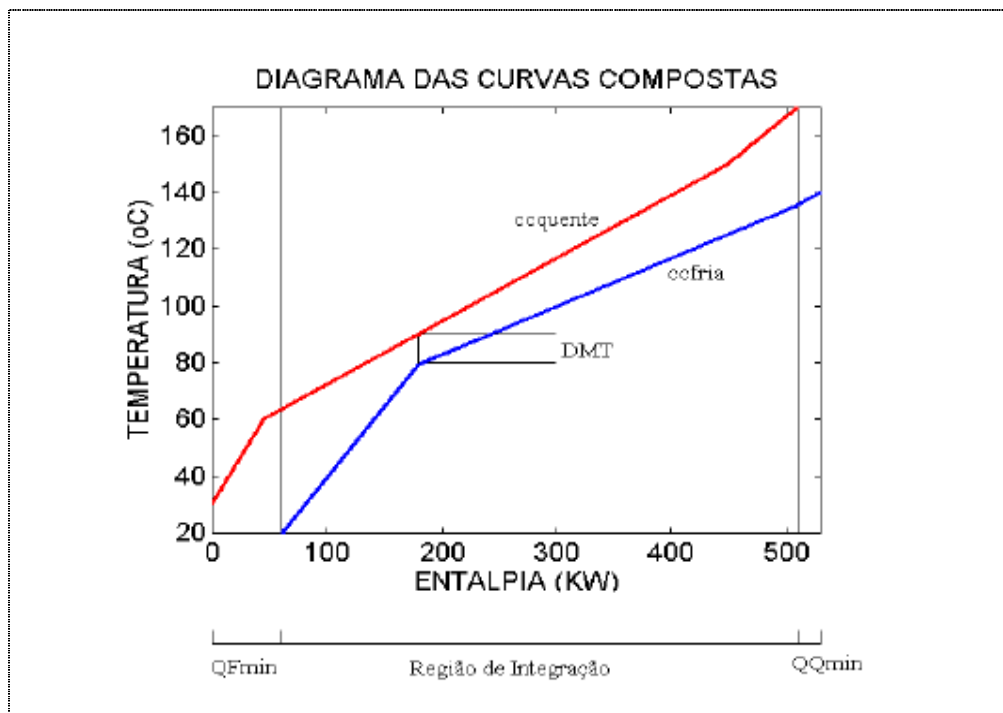


Figura 12 – Diagrama de curvas compostas

Fonte: Melo Jr., 2005.

4.3.2.2 Sistemas por absorção

Segundo Abreu (1999), a primeira máquina construída e patenteada ocorreu em 1923. A máquina de refrigeração por absorção de Carré foi fabricada, em grande parte, na França, Inglaterra e Alemanha e foi comercializada, principalmente, nos Estados Unidos para a fabricação de gelo pelos sulistas na guerra Civil Americana.

Segundo Silva (1993), por volta de 1930, na Suécia, foi produzido o primeiro refrigerador doméstico. Em 1945, os sistemas de absorção usando Água-Brometo de lítio tiveram seu desenvolvimento pela empresa Carrier sendo amplamente utilizados no condicionamento de ar de grandes edifícios. A partir daí foram surgindo novas evoluções tecnológicas do sistema no sentido de melhorar sua eficiência.

No entanto, logo em seguida, a utilização dos sistemas por absorção foi restringida. Os sistemas de refrigeração por compressão passaram a dominar o mercado em decorrência da popularização do sistema logo após a Segunda Guerra Mundial com o desenvolvimento do compressor hermético para refrigerante R12, baixo custo, para época, da

energia elétrica e evolução dos motores elétricos através da introdução de verniz que barateou e reduziu as dimensões dos equipamentos.

Com a crise do petróleo na década de 70, foram comercializados por empresas como Carrier, York e Trane, vários modelos de equipamentos de condicionamento ambiental por absorção para uso em sistemas de cogeração, principalmente usando o par água e brometo de lítio. Diante dessa possibilidade de utilização do calor residual da planta, como fonte de energia, os sistemas por absorção voltam a receber a atenção anterior.

As máquinas de refrigeração por absorção foram construídas em diversas configurações. Sem mencionar nos detalhes construtivos, como trocadores de calor, mecanismos de automação, uso de duplo estágio e outros. Os principais sistemas são os intermitentes onde o relato mais recente foi encontrado no manual da American Society of Refrigerating Engineers (1950) o qual cita a existência de caminhões frigoríficos equipados com tal sistema. Outro sistema é o Electrolux, mais popular de todos os modelos por absorção, devido utilização nos eletrodomésticos, cujo esquema é ilustrado na Figura 13.

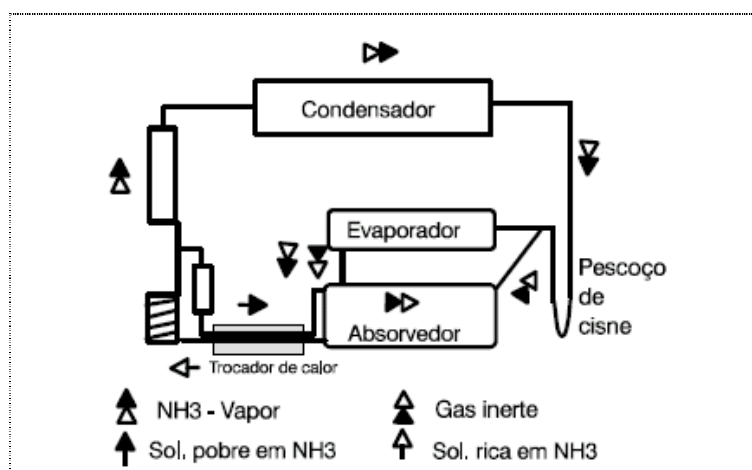


Figura 13 – Esquema do sistema por absorção Eletrolux

Fonte: Abreu, 1999

E por fim, destacam-se os sistemas industriais por absorção na qual é detalhado, devido sua relevância ao estudo. Como nos sistemas por compressão, possui válvula de expansão, condensador e evaporador, no entanto, a elevação da pressão é feita por meio de uma bomba que comprime uma solução de fluido refrigerante e absorvente na fase líquida, consumindo pouca energia mecânica, cerca de 2%, em relação aos sistemas por compressão.

O vapor de fluido refrigerante a baixa pressão vindo do evaporador é exposto à solução com baixa concentração de refrigerante pela qual é absorvido, criando a solução com alta concentração. Esta solução concentrada tem sua pressão elevada por meio de uma bomba. Depois, a solução concentrada é destilada de forma a separar o vapor de fluido refrigerante da solução. Solução que se torna pouco concentrada a alta pressão e retorna na seqüência para o absorvedor. Já o vapor refrigerante passa por um trocador de calor, denominado retificador, no qual é retirado o absorvente eventualmente contido no vapor refrigerante. Posteriormente, o vapor refrigerante a alta pressão, isento de absorvente, é encaminhado ao condensador, como nos processos por compressão. A Figura 14 ilustra esse sistema.

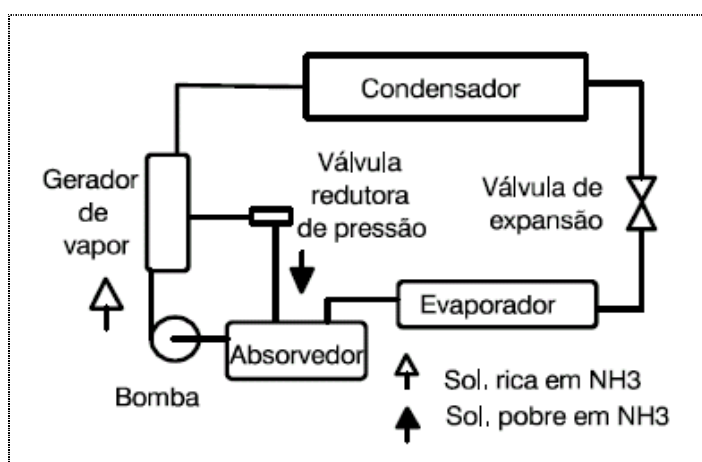


Figura 14 – Sistemas industriais por absorção

Fonte: Abreu, 1999

Atualmente, os chillers, equipamentos dos sistemas por absorção, subdividem-se em dois tipos. O primeiro, por queima direta, onde o calor necessário ao processo, é obtido da queima de um combustível, tipicamente gás natural e o segundo, por queima indireta, onde calor é fornecido na forma de vapor de baixa pressão, água quente, processo de purga quente ou gases quentes de exaustão. O último mais interessante para a planta da Caraíba Metais que libera gases residuais a altas temperaturas pelos seus fornos.

Algumas vantagens em relação aos sistemas mecânicos tradicionais por compressão podem ser enumeradas a seguir:

- não existem componentes móveis no sistema, tendo como consequência vida útil longa, geralmente superior a vinte anos e muito pouca manutenção;

- nos chillers, onde se usa água como fluido refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva da camada de ozônio (como os CFC, por exemplo);
- o consumo final elétrico de um chiller de absorção é tipicamente cerca de 10% do consumo dos chillers de compressão elétricos;
- calor residual de processos pode ser utilizado como fonte térmica reduzindo os custos operacionais e a emissão de poluentes para o meio ambiente.

4.3.2.3 Sistemas de recuperação de calor para produção de vapor

A primeira tentativa do homem para produção de vapor na história da humanidade data da década II a.C., quando Heron da Alexandria inventou um aparelho que vaporizava água e movimentava uma esfera em torno do seu eixo. Esse foi o aparelho que deu origem às caldeiras e turbinas a vapor.

Entretanto, foi na época da revolução industrial que as caldeiras a vapor ganharam impulso. As máquinas dependiam da pressão do vapor para se movimentarem. Durante muitos anos os cientistas, artífices e operários trabalharam no desenvolvimento das máquinas a vapor e muitos trabalhos científicos foram desenvolvidos. Denis Papin na França, James Watt na Escócia e a Wilcox nos Estados Unidos foram os mais notáveis nesta área.

Em 1835, já havia 6 mil teares operando a base de vapor. Entretanto, o uso das caldeiras a vapor ganhou mais força após a primeira guerra mundial nos mais diversos setores da indústria. Mesmo nos dias de hoje com tecnologias desenvolvidas, análises do sistema, normas, procedimentos rígidos de segurança e ensaios, as caldeiras explodem. Imaginam-se, então, quantos acidentes fatais ocorreram desde sua invenção nos inúmeros tipos de equipamentos movidos a partir da alta pressão do vapor.

Aliado aos avanços tecnológicos da geração de vapor para aumento da produtividade do sistema houve também a necessidade de investimentos no sentido da proteção tanto dos operadores quanto das comunidades vizinhas às fábricas. Esta preocupação começou a partir de um dos acidentes mais catastróficos no período da evolução

industrial quando em 1905, na cidade de Massachusetts, nos Estados Unidos, 58 pessoas morreram após a explosão de uma caldeira. A partir daí, então, foi criada a *American Society of Mechanical Engineers* (Asme), principal fonte de referências normativas em caldeiras em vasos de pressão no mundo.

Existem diversas classificações de caldeiras. As mais genéricas classificam as caldeiras em Flamotubulares e Aquatubulares.

As **Flamotubulares** se caracterizam pela circulação de gases quentes de combustão pelo interior dos tubos enquanto água fica do lado externo. Essas, em decorrência de sua forma construtiva são limitadas em produção e pressão que em geral não ultrapassam a 15 t de vapor hora e pressões de trabalho de 18 bar.

As **Aquatubulares**, ao contrário da anterior, circulam água e vapor pelo interior dos tubos e os gases quentes de exaustão ou combustão passam em contatos com as paredes externas dos tubos. As caldeiras aquatubulares possuem uma utilização mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internos com menores dimensões relativas. Isso viabiliza econômica e tecnicamente a utilização de paredes de tubos mais espessas permitindo operar em pressões mais elevadas. Outra vantagem importante é a possibilidade de adaptação de acessórios como um superaquecedor, gerando vapor superaquecido indispensável ao funcionamento de turbinas.

O seguimento de caldeiras aquatubulares pode ser subdividido nos seguintes tipos (PERA, 1966):

- Caldeiras de tubos retos;
- Caldeiras de tubos curvos;
- Caldeiras compactas;
- Caldeiras de circulação positiva;
- Caldeiras marítimas;
- Caldeiras especiais.

Neste último seguimento, especiais, destacam as **Caldeiras de Recuperação de Calor**. Este tipo será explicitado pelo alinhamento ao trabalho de pesquisa, já que utiliza os gases quentes residuais do processo pirometalúrgico.

Neste sistema, os gases que saem de fornos de processos a uma temperatura entre 649°C e 705°C podem ser absorvidos por tubos trocadores de calor ao longo do percurso. A Figura 15 representa uma caldeira recuperando calor (SEVERNS, 1974).

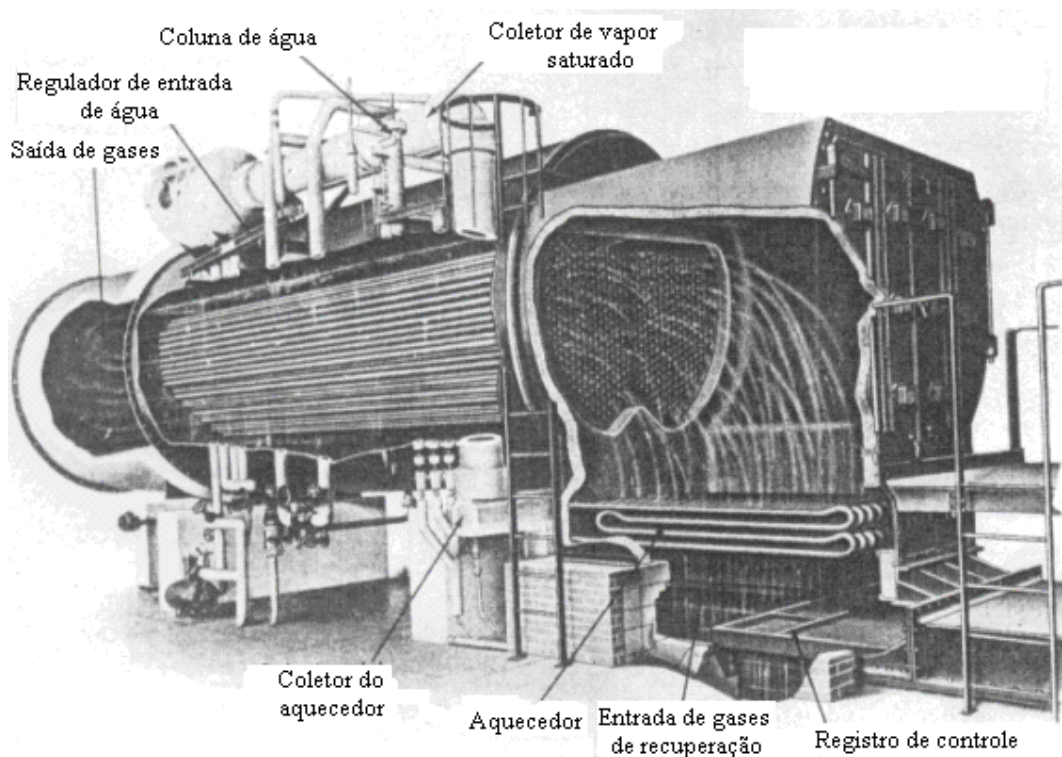


Figura 15 – Caldeira de recuperação de calor

Fonte: Severns, 1974

Essas caldeiras são construídas para recuperar o calor a base de transmissão de calor por convecção e por radiação devida as superfícies de contato. A estas classes de caldeira interessa as com tubos de pequeno diâmetro ente 11/2” a 2” e ficam colocadas de forma compacta. Assim, com uma velocidade elevada dos gases por entre os tubos, com ajuda de ventiladores, é possível recuperar aproximadamente 60% da energia térmica contida nos gases.

5 TECNOLOGIAS LIMPAS

Este capítulo faz abordagens relacionadas à implementação de tecnologias limpas em processos produtivos e mostra como estas estão ligadas ao tema eficiência energética. Para tanto, apresenta o fator 10 como um indicador da necessidade de implementação de tecnologias limpas contribuindo para a construção de um desenvolvimento sustentável. Em seguida, como abordar o problema dos resíduos, emissões e efluentes gerados na indústria. Depois, mostra-se sustentação financeira para implantação de tecnologias mais limpas e por último relaciona as medidas técnicas disponíveis para aumento da eficiência energética, tema desta pesquisa.

5.1 FATOR 10

Usa-se fator 10 como um indicador ou imagem representativa de um cenário projetado para um futuro de 50 anos onde o dez corresponde o número de vezes que deve-se melhorar na produtividade global no uso dos recursos naturais, para se atingir o desenvolvimento sustentável.

Segundo Kiperstok e outros (2003), a fixação de um valor numérico para objetivar a ecoeficiência da sociedade visa forçar uma reflexão mais comprometida com os esforços necessários para a sustentabilidade ambiental.

A equação que demonstra o impacto ambiental é expressa por diversos autores e é representado pela expressão:

$$\text{Impacto Ambiental} = (\text{População}) \times (\text{Renda per capita}) \times (\text{Impacto Ambiental/Produto})$$

Segundo Kiperstok e outros (2002) na avaliação da população mundial o crescimento entre 1950 e 1996 se deu na ordem de 1,8%. E conforme estimativa, adotando-se

um crescimento na ordem de 1,4% a.a., a população aumentaria em 2 vezes daqui a 50 anos. A Figura 16 apresenta as projeções do crescimento populacional mundial.

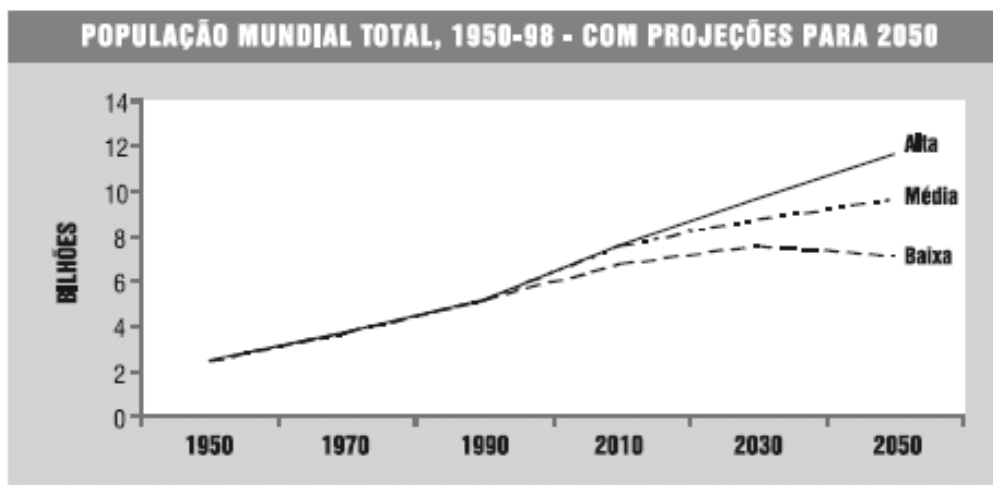


Figura 16 Projeção do crescimento populacional mundial

Fonte: Kiperstok e outros, 2002

Na segunda parte da equação, renda *per capita*, para os próximos 50 anos foi considerada dois grupos distintos de crescimento da renda *per capita*. Para 50% dos países mais pobres do mundo foi considerada uma ordem de grandeza de crescimento na renda e conseqüentemente no consumo de dez vezes maior que o atual. Para se ter uma idéia deste aumento de renda, significa dizer que países com a Índia, a China e boa parte dos países da África aumentariam suas rendas em dez vezes e estariam atingindo a média do Brasil hoje. Para a outra parcela, 50% dos países mais ricos do mundo, foi imaginado que suas sociedades abrissem mão de qualquer crescimento na renda *per capita*. Ponderando-se as duas parcelas das populações mundiais chegar-se-ia a um crescimento na renda *per capita* de 5 vezes daqui a 50 anos.

Como os dois primeiros itens da expressão que calcula o impacto ambiental foram definidos e multiplicados corresponde a dez, significa que para manter o Impacto Ambiental a níveis atuais será necessário melhorar, o mesmo valor correspondente, no terceiro e último item da expressão que representa o **Impacto Ambiental/Produto**, ou seja, deve-se reduzir o impacto ambiental dos produtos e atividades em 10 vezes nos próximos 50 anos.

A utilização do fator 10 tornar-se-á referência na busca pelo aumento da

produtividade global no uso dos recursos naturais através da implementação de tecnologias limpas para atingir o desenvolvimento sustentável. Segundo Kiperstok e outros (2003), incorporar o desafio de atingir o Fator 10 permite internalizar a variável ambiental na dinâmica da evolução tecnológica e do consumo e desta forma estender a nível nacional e regional a competitividade da sociedade como um todo.

5.2 ABORDAGEM DO PROBLEMA DOS RESÍDUOS, EMISSÕES E EFLUENTES NA INDÚSTRIA

Uma forma tradicional de abordar esse assunto é classificar o resíduo gerado na indústria pela forma como são produzidos e o corpo receptor onde serão lançados ou destinados. A Figura 17 apresenta uma escala de evolução onde à medida que se sobe nesta, aproxima-se de uma sociedade sustentável pois aumenta-se a racionalidade e a produtividade no uso dos recursos ambientais, alinhando-se assim aos ganhos ambientais e econômicos. Nos degraus mais baixos encontram-se as medidas denominadas de fim-de-tubo onde os resíduos são considerados inevitáveis e a redução do seu lançamento ou despejo ao meio ambiente mediante gasto de energia e insumos são as únicas preocupações.

Nos degraus intermediários estão representadas medidas que buscam alterar o processo produtivo mediante identificação de perdas e ineficiências e correção na fonte de geração. Sempre com foco na prevenção da geração do resíduo aproveitando melhor as matérias primas e a energia que além de reduzir o impacto nos pontos de lançamento do resíduo, reduz-se o impacto negativo causado na extração das matérias-primas.

Nos degraus mais altos, incluem-se medidas para as quais é necessário maior articulação com o mercado consumidor, bem como, com outros setores produtivos. Procura-se otimizar todos os mecanismos econômicos e sociais para que estes funcionem integrados obedecendo ao limite dos recursos naturais do nosso planeta.

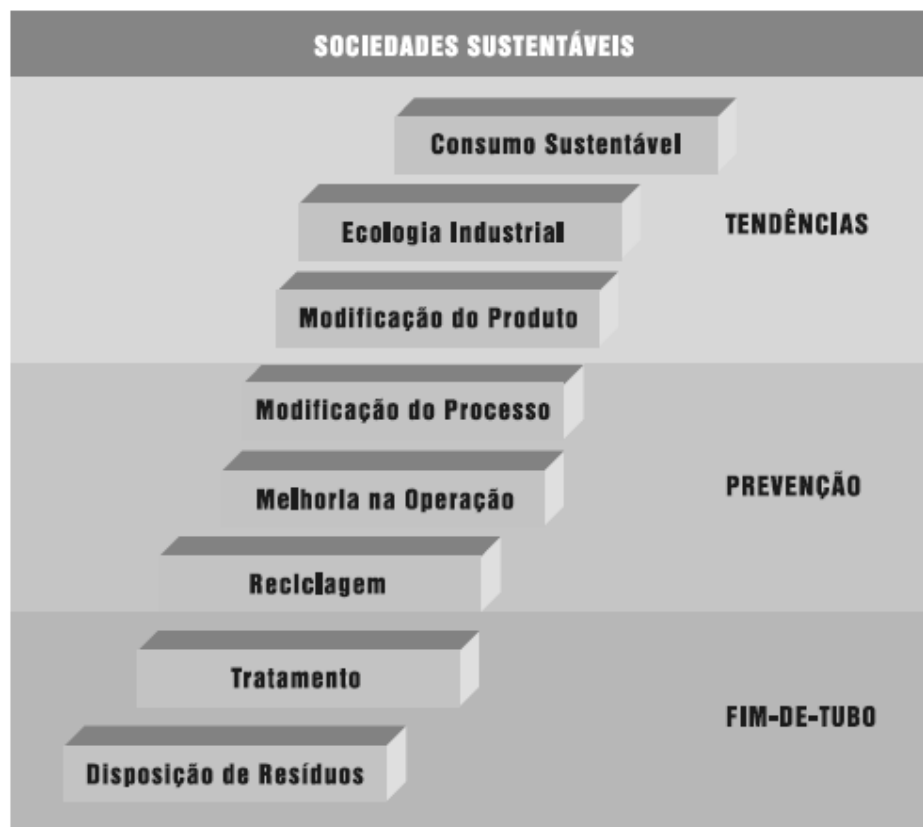


Figura 17 Do Fim-de-tubo à sustentabilidade ambiental

Fonte: Kiperstok e outros, 2002

Para orientar este novo enfoque, considera-se ainda o organograma ilustrado na Figura 18, que trata de indicar ações mestres para a prevenção da poluição. Nesta, as possíveis tecnologias e/ou atitudes, gerenciais e técnicas, organizam-se da esquerda para a direita e de cima para baixo, segunda sua prioridade ou importância de aplicação, ou seja, é desejável sempre adotar ou escolher ações mais a esquerda e/ou mais ao alto.

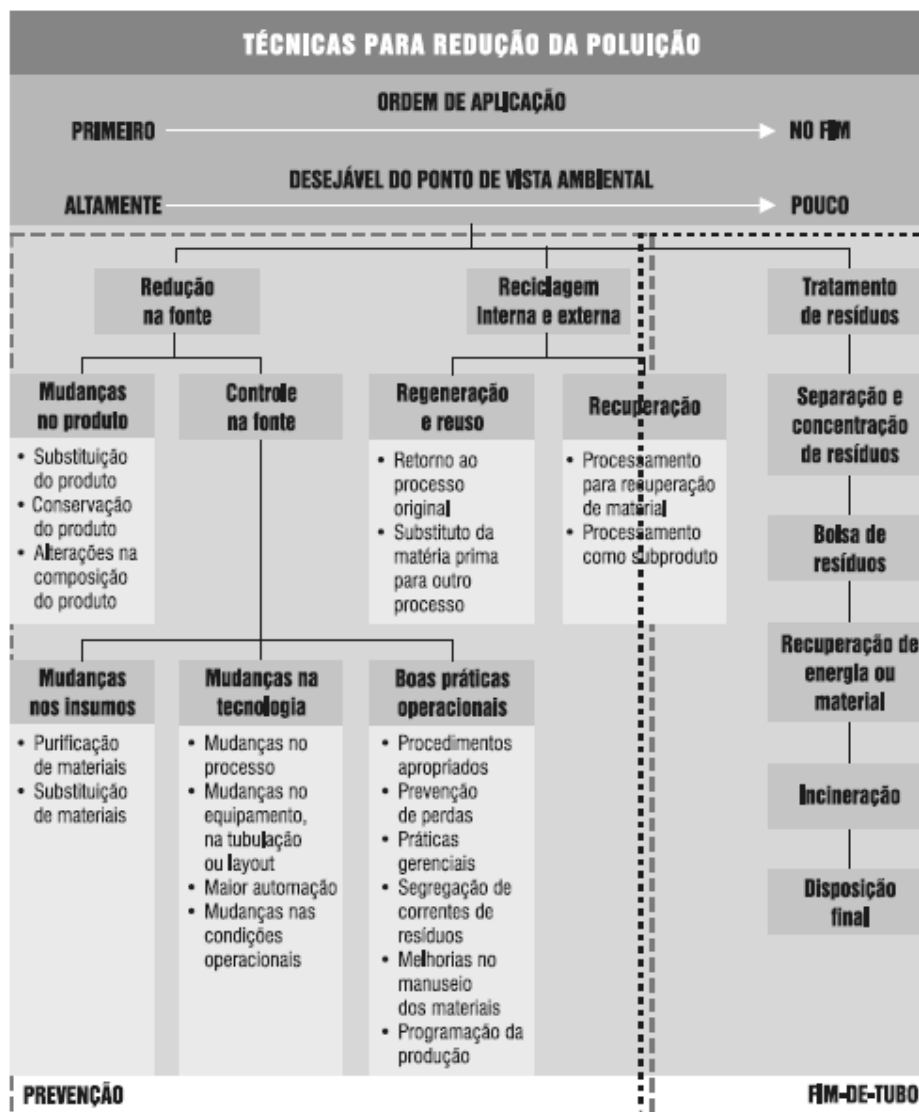


Figura 18 Organograma mestre das ações para prevenção e controle da poluição

Fonte: Kiperstok e outros, 2002

Nas duas figuras anteriores é possível contextualizar onde esta pesquisa fica inserida. No caso, enquadra-se este estudo nos degraus intermediários com ações direcionadas estágio intermediário, já que se buscam melhoria na fonte e reciclagem mediante integração de processos cuja busca de perdas da carga térmica nos fornos conversores e de refino aproveitando melhor a energia requerida, reduzindo o impacto ambiental.

5.3 FINANCIAMENTO DAS TECNOLOGIAS LIMPAS

Para avançar em direção ao desenvolvimento sustentável, é importante investimento em tecnologias nos processos produtivos. Neste tópico será abordada a fonte de recursos financeiros para a evolução das práticas de prevenção à poluição. Segundo Kiperstok e outros (2002), um dos trabalhos mais relevantes sobre o assunto é a Hipótese de Porter onde se aborda a questão sob o ponto de vista “ganha a ganha”. Nesta visão, a poluição é vista como um desperdício, fruto de uma ineficiência produtiva, já que parte do recurso inserido no início da cadeia produtiva é transformada em resíduo e conclui que a eliminação ou redução deste provoca um aumento na produtividade agregando competitividade à Empresa.

Vários artigos são publicados e encontrados em diversos segmentos industriais onde é demonstrado o “ganha a ganha”. Neles são detalhadas as tecnologias implantadas os investimentos necessários e ganhos financeiros advindos de uma melhor produtividade e menor geração de resíduo. Somados ao benefício econômico para a Empresa que decidiu direcionar recursos financeiros no desenvolvimento ambiental, ainda aparecem as externalidades positivas ao meio ambiente e sociedade cuja contabilização do ganho não é internalizada ao processo inovativo.

A Figura 19 é ilustrada para facilitar a assimilação do significado do “ganha a ganha”. Nele está representado o comportamento característico das opções de fim de tubo onde a redução do impacto ambiental depende de processos de tratamento dos resíduos. Sejam através da destruição ou acondicionamento. Como pode ser entendida na figura a redução do impacto ambiental optado por metodologias de fim de tubo requer custos crescentes.

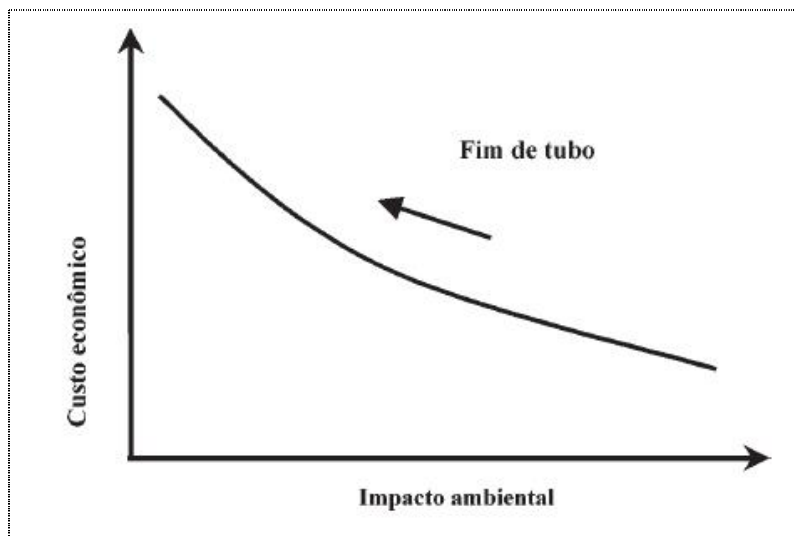


Figura 19 Impacto ambiental
Fonte: Kiperstok e outros, 2003.

Mesmo se obtendo inovações tecnológicas no tratamento de resíduos nas áreas de incineração ou tratamento de efluentes, por exemplo, gerando reduções no custo econômico, o desejável para as organizações industriais é evoluir para opções por tecnologias mais limpas no intuito de otimizar o processo produtivo minimizando a geração de resíduos e reduzindo os recursos materiais necessários ao processo. Em resumo, deve-se mudar o pensamento fim de tubo onde se crê que a geração de resíduos é inevitável convergindo para ações de tratamento de resíduos, insuficiente para se atingir o fator 10, para a consciência da prevenção da poluição através de inovações tecnológicas nas indústrias até a evolução de mecanismos econômico-social para que juntos articulem estratégias respeitando a capacidade do planeta.

Retornando ao processo industrial, se for criada uma cultura organizacional para a promoção e incentivo de tecnologias mais limpas de forma a se implantar sucessivos projetos inovativos atingi-se o “ganha a ganha”, conforme ilustrado na Figura 20.

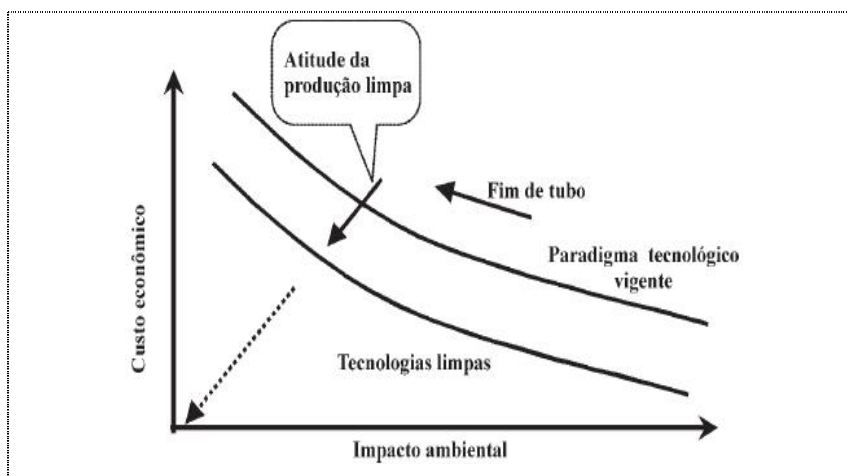


Figura 20 Impacto ambiental e tecnologias limpas
 Fonte: Kiperstok e outros, 2003.

Também existem opiniões contrárias à Hipótese de Porter fundamentadas nas imperfeições do mercado, intervenções do Estado, instrumentos de incentivos, legislação ambiental, poder econômico do país e seus recursos naturais disponíveis. No entanto, a comunidade industrial não deve se restringir a elementos que levam apenas a ganhos econômicos associados a ambientais e acredita-se na evolução para estratégias que considere a capacidade atual dos recursos naturais através da conscientização da fragilidade do ecossistema e efetiva capacidade de recuperação.

5.4 MEDIDAS TECNOLÓGICAS LIMPAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Muitas medidas técnicas podem ser adotadas para a eficiência energética. Na seqüência são elencadas algumas dessas medidas:

- Prevenção na perda da dissipação de energia associados a vazamentos que ocorrem dentro de sistemas que podem ser prevenidas por inspeções periódicas bem como uso de artifícios para evitar vazamentos;
- Co-geração e geração através da utilização da carga útil de vapor para geração de eletricidade;

- Sistemas de energia integrados onde as saídas de processos, perdas ou resíduos são reusados em processos subseqüentes;
- Entrosamentos entre demanda, fornecimento e armazenagem de energia que em síntese significa receber uma oferta de energia a níveis mais próximo do necessário;
- Melhoria no envoltório de edificações através do aumento de isolamento térmico, vedações para evitar troca de ar com ambiente externo, janelas de alta eficiência e uso de sensores fotossensíveis para ajuste de persianas.

6 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para atender esta pesquisa segue modalidades distintas para cada um dos objetivos específicos. A primeira, referente à contextualização do posicionamento do desempenho energético das áreas da Fundição e Conversão perante as demais metalurgias, mediante análise documental de dados levantados por empresas de consultoria especializadas no segmento de mercado de metais não ferrosos. A segunda, detalha o estudo de caso mediante análise de dados secundários armazenados no sistema de controle de processo dos fornos de Refino da Caraíba Metais e avalia a possibilidade de aproveitamento dos gases de exaustão em sistemas de secagem de resíduos. E a terceira metodologia empregada trata da análise documental de projetos implementados de melhoria de eficiência energética nas metalurgias de cobre, bem como, estudo das características de processo, tecnologias e desempenho energético de cada uma delas no intuito de sinalizar e quantificar, sucintamente, outras oportunidades de aproveitamento da carga térmica nos processos produtivos da Caraíba Metais.

A Figura 21 representa um diagrama que facilita a compreensão da estruturação das metodologias, inclusive com indicação das fontes de dados da pesquisa, para os três objetivos específicos.

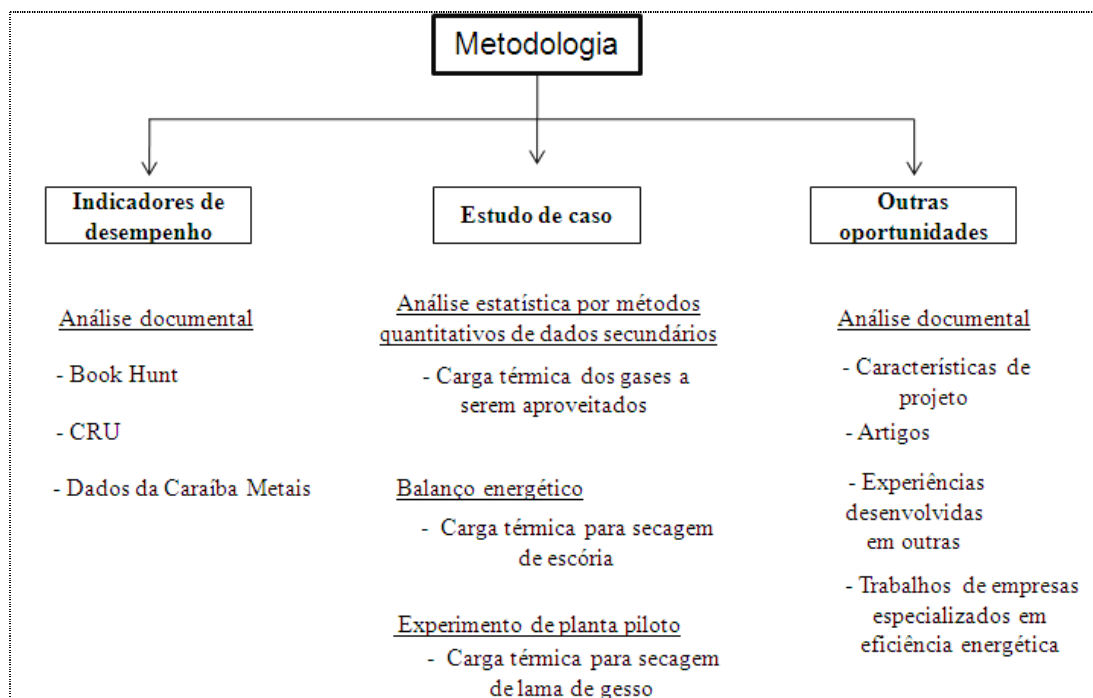


Figura 21 Estruturação das metodologias
Fonte: o autor

6.1 INDICADORES DE DESEMPENHO

O modelo de pesquisa adotado para contextualizar o posicionamento do desempenho energético das áreas da Fundição e Conversão perante as demais metalurgias considera a análise documental de dados levantados por organizações internacionais especializadas em pesquisar informações industriais e operacionais em segmentos de mercados específicos. A metalurgia do cobre é um destes e neste caso os estudos levantados são subdivididos em dois ramos. Um trata da unidade pirometalúrgica, *smelter*, e a outra da etapa seguinte ao processo metalúrgico, ou seja, o refino eletrolítico, *refinery*. Como o objetivo específico desta pesquisa avalia o desempenho energético da etapa pirometalúrgica, os indicadores também levam em conta isso e são expostos com o objetivo de retratar os vários aspectos relacionados à energia para reflexão de oportunidades e permitir melhor avaliação do desempenho energético da Caraíba Metais no cenário mundial do cobre. Assim, são contextualizados os seguintes indicadores:

6.1.1 Preço da Energia

Como mostrado anteriormente a Caraíba Metais possui custos operacionais competitivos na etapa pirometalúrgica e para proporcionar melhor compreensão do quanto o preço pago pela energia impacta na formação de seu custo são levantados e analisados indicadores que tratam exclusivamente do Preço da Energia. Representa-se pelo preço em uma mesma unidade monetária (US\$) dividida por energia equivalente expressa em Joules paga por cada uma das metalurgias em seus respectivos países. Extrai-se dos relatórios Hunt, dados de 2004, o preço da energia que é composto de diferentes fontes de energia, ou seja, o custo final considera o preço da energia elétrica, carvão, gás, óleo e outras fontes de energia e analisa-se a sua participação na formação do custo operacional. Outro aspecto analisado refere-se à veracidade nos dados levantados de preços em decorrência da valorização acentuada do real frente ao dolar americano, entre 2004 e 2008. Além do preço individual, também é comparado o preço da energia nas grandes regiões produtoras de cobre permitindo-se fazer, na sequência das exposições, correlações regionais entre o preço unitário da energia e consumo em Joules por tonelada de cobre produzida. Os indicadores consideram subdivisões nas regiões, Japão, América do Norte, Austrália, Leste da Europa, África, América Latina, Oeste da Europa e outras regiões da Ásia.

6.1.2 Uso e Custo das Fontes de Energia na Caraíba Metais

A melhor compreensão dos impactos na Caraíba Metais das diversas fontes de energia na composição final do custo de transformação do minério concentrado em anodo de cobre é obtida através do desmembramento do preço da Energia nas formas de Energia Elétrica, Gás Natural, Óleo Combustível e outras formas. Para exposição deste indicador, detalha-se o quanto cada metalurgia paga por cada tipo de fonte de energia, em mesma base monetária, e na sequência correlaciona-se em forma gráfica o preço da média das demais metalurgias com os preços pagos pela Caraíba Metais, permitindo-se assim visualizar as melhores oportunidades financeiras das diversas fontes de energia.

Outro gráfico é formatado para expressar o consumo das diversas fontes de energia que cada metalurgia usa em seu processo produtivo. O detalhamento permite comparar graficamente o consumo de cada fonte de energia na Caraíba Metais, com a média de todas as metalurgias e daquelas que utilizam tecnologia *Flash*. Para isso, extrai-se dados de

desempenho energético de cada uma das 45 metalurgias de cobre, distinguindo, inclusive, a tecnologia utilizada por cada uma delas.

Mediante os dois gráficos, analisa-se a estratégia adotada pela Caraíba Metais quanto à escolha dos tipos de combustíveis a serem utilizados no processo.

6.1.3 Matriz Energética Caraíba em 1999 e 2004

Outro indicador importante trata das estratégias adotadas pela Caraíba Metais quanto à escolha das diversas fontes de energia disponíveis no Brasil. Para isso, busca-se elaborar um paralelo entre o ano de 1999 e 2004. Épocas que se diferem entre si, pois, a partir de 2000, a Empresa optou por fazer investimentos em sua planta e alterou seu processo para uso de gás natural em vez de óleo combustível.

Assim extrai-se de edições Brook Hunt, (2005), o perfil de consumo das fontes de energia da Caraíba Metais em 1999 e compara-se com 2004. Além desta comparação, formata-se graficamente a evolução dos preços unitários no Brasil do gás natural e óleo entre os anos de 1994 e 2004 para auxiliar na avaliação das estratégias adotadas pela Empresa.

6.1.4 Consumo energético por cobre produzido

Por fim, compara-se o posicionamento da Caraíba Metais perante as demais metalurgias em geral, o consumo por tecnologia e na seqüência àquelas que utilizam a mesma tecnologia da Caraíba Metais, a *Flash Smelter*. Para isso, extrai-se de dados de consumo referente ao ano de 2004 de todas as 45 metalurgias de cobre espalhadas nas diversas regiões produtoras no mundo levando-se em conta inclusive o tipo de tecnologia utilizada na unidade industrial. O consumo é representado pela razão entre o consumo de energia em mega Joules (MJ) e a tonelada de cobre produzida. É demonstrado também nos gráficos, através das barras de cada metalurgia, a capacidade produtiva de cada metalurgia, ou seja, quanto maior a largura da barra maior a capacidade. Essas informações permitem compreender o perfil do consumo energético por tecnologias, pelo porte e quando correlacionadas a indicadores já mencionados facilita a análise do consumo por região e contribuem para a compreensão das políticas energéticas na Caraíba Metais.

6.2 ESTUDO DE CASO

As metodologias utilizadas para este estudo consideram a análise estatística por métodos quantitativos de dados secundários, balanço energético de um sistema e uso de resultados de um experimento. Estão associadas a duas etapas do processo metalúrgico do cobre e buscam demonstrar a existência de oportunidades na Caraíba Metais em direção à melhoria de sua eficiência energética. A primeira etapa trata do sistema na qual se pretende retirar, ou melhor, aproveitar a carga térmica disponível, desperdiçada atualmente na exaustão dos gases dos fornos de refino. Já a segunda parte leva em conta onde essa carga térmica pode ser aproveitada, reintegrada. Neste caso se considera duas possibilidades sendo uma a secagem de escória e a outra oportunidade a secagem de lama de gesso, ambas se tratando de resíduos do processo produtivo da Empresa. Já diante das escolhas, no caso dos gases de exaustão a ser aproveitado, realiza-se um estudo do comportamento do fluido nas diversas etapas do processo, através da análise e modelagem estatística por métodos quantitativos de dados secundários, já que se extrai registros do sistema de controle do processo dos fornos de Refino, possibilitando conhecer de forma teórica a carga térmica disponível em todas as fases do processamento de refinamento a quente do cobre. No caso dos fornos de secagem de escória, conforme se detalha na seqüência, realiza-se um balanço de massa e energético do sistema existente hoje na Empresa com o intuito de determinar a demanda da carga térmica necessária ao beneficiamento do produto. Diferente da secagem de lama de gesso, processo inexistente na Empresa, onde se obtém a carga térmica de resultados experimentais realizados no final do ano de 2005, quando uma Empresa especializada no desenvolvimento de projetos de aproveitamento de carga térmica residual instalou uma planta piloto na Caraíba Metais por um período de duas semanas. De posse do conhecimento das cargas térmicas, onde na seqüência detalha-se uma a uma, realiza-se uma avaliação econômica financeira e ambiental conclusiva sobre o estudo de caso.

6.2.1 Seleção do Processo que Libera Gases a serem Aproveitados

Seleciona-se o processo produtivo levando-se em consideração o potencial térmico, a composição química dos gases e riscos à flexibilidade operacional e continuidade do processo produtivo do cobre.

A temperatura dos gases de exaustão dos fornos de refinamento do cobre mostra-se potencialmente aproveitada já que os gases saem do interior dos fornos de refinamento

onde ficam imersos ao banho de cobre líquido a 1.350°C. Na saída estes passam por um incinerador para queima do gás natural residual do processo e se integram a uma massa de ar que o diluem e resfriam antes do despejo para a atmosfera através da chaminé. A redução da temperatura dos gases se faz importante para não se alterar as características físicas e metalúrgicas dos dutos de exaustão. Mesmo assim, há registros onde a temperatura alcançou 350°C.

A composição química dos gases de exaustão torna-se outro aspecto favorável à escolha deste sistema, já que o relatório técnico de monitoramento ambiental, emitido pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Ceped em janeiro de 2001, mostra que a emissão de materiais particulados e SO_x ficam muito abaixo do padrão estabelecido pelo órgão ambiental da Bahia, facilitando assim a integração da energia térmica destes gases a outras etapas do processo produtivo do cobre.

E finalmente, o terceiro fator relevante à escolha dos gases de exaustão decorre do fato destes não estarem integrados a nenhuma outra etapa do processo produtivo, ou seja, saem da fase de refinamento para os dutos e posteriormente para as chaminés. Isso significa dizer que seu aproveitamento não representa perda de flexibilidade à planta e riscos de descontinuidade do processo operacional.

6.2.2 Seleção dos Processos que Recebem a Energia Térmica

Conforme citado anteriormente, selecionam-se dois sistemas. Ambos tratando da secagem de resíduo do processo metalúrgico da Empresa sendo a secagem de escória, resíduo e subproduto da empresa e a secagem de lama de gesso oneroso para a Empresa em decorrência dos custos com transporte, manejo e confinamento.

6.2.2.1 Secagem da Escória

A seleção desta etapa do processo deu-se por fatores técnicos, econômicos, comerciais e ambientais.

Tecnicamente, a escolha do destino da integração a uma etapa, praticamente, fora do processo produtivo do cobre eletrolítico traz a vantagem de não acarretar qualquer prejuízo operacional à produção ou flexibilização do processo. Ressalta-se que o projeto original da metalurgia decorre da década de 60 e não previu este sistema.

Economicamente porque o processo de secagem da escória consome anualmente cerca 540mil l/ano de óleo diesel em dois fornos representando um potencial de ganho anual para a Empresa na ordem de R\$ 1 milhão, considerando a hipótese de se extinguir o consumo.

Comercialmente, pelo consumo crescente deste subproduto, principalmente para fins de jateamento industrial de metais, em decorrência da proibição do uso da areia no ano de 2004. Atualmente, um terço da comercialização da escória já se destina ao jateamento e, neste caso, remove-se a umidade para melhoria das propriedades anti-corrosivas.

E, finalmente, o fator ambiental haja vista a contribuição para a redução gradativa do passivo ambiental acumulado. Atualmente morros ou montanhas de escória estão presentes em algumas localidades ao redor da Empresa e onde foi verde um dia hoje apresenta uma paisagem degradada. Vale lembrar que no início das operações, cerca de 30 anos atrás, não havia o aproveitamento comercial da escória, principal resíduo do processo metalúrgico, cerca de 300.000t/ano. Após anos de pesquisa e desenvolvimento de mercado comercializam-se hoje cerca de 180.000t/ano. Ainda não é vendida toda escória gerada, porém expectativas são promissoras pelo crescimento de sua comercialização.

6.2.2.2 Secagem de Lama de Gesso

A lama de gesso é fruto da água ácida a 12% proveniente da limpeza do SO₂ na planta de ácido sulfúrico da Empresa. Nela também estão contidas impurezas como arsênio e flúor e são neutralizadas com cal e sulfato de ferro formando assim a lama de gesso. O resíduo, na ordem de 11.500 ton / mês é armazenado em aterro próprio construído pela Caraíba Metais.

Definiu-se pela seleção deste processo, ainda inexistente na Empresa, no início do ano de 2006 e vale registrar que foram realizadas experiências de secagem no final do ano de 2005, através da instalação de uma planta piloto na Caraíba Metais, por uma empresa especializada em soluções de secagem de resíduos industriais a partir do aproveitamento da carga térmica de gases exauridos pelas chaminés como fonte de energia.

Os fatores de avaliação para a seleção deste processo assemelham-se à secagem de escória, ou seja, técnico, ambiental e econômico. Técnico, pois o experimento na planta piloto mostrou sinais positivos de realização culminando inclusive em proposta comercial para o desenvolvimento do forno de secagem em questão; ambiental, em decorrência de

destinar o resíduo sólido a empresas produtoras de pisos e azulejos reduzindo o impacto ambiental com confinamento do material e liberação de espaços reservados para aterro, reintegrando-as em áreas de recuperação florestal e, finalmente, econômica, mesmo se considerando o valor de venda do resíduo, suficiente apenas para arcar com os gastos com transporte até o fabricante de cimentos, já que a Caraíba Metais deixaria de investir na construção de aterros e de gastar cerca de R\$50 mil/mês com o manuseio do resíduo e aterro.

Vale ressaltar que, após seleção deste processo no início do ano de 2006, a Caraíba Metais destina um novo rumo para este resíduo. Em meados do ano de 2006 se define o projeto batizado de água-ácida, previsto para entrar em operação plena em julho de 2007. O projeto prevê a limpeza de gases na planta de ácido sulfúrico com água ácida enriquecida e conseqüente geração de água ácida a 45% na qual se comercializa para uma determinada empresa de mineração. Desta forma, torna-se dispensável neutralizá-la com cal e sulfato de ferro reduzindo-se assim em 80% o resíduo a ser aterrado. Mesmo reduzindo a lama de gesso, decidiu-se por manter este estudo de caso em decorrência das potencialidades, já que é possível poder remover a lama de gesso já aterrada e confinada nas duas primeiras bacias construídas, tratar e comercializar junto aos cimenteiros..

Fundamentado nos princípios da engenharia ambiental, área de pesquisa deste trabalho, é pertinente fazer-se um alerta para o projeto água-ácida. Há de se monitorar o destino final do resíduo gerado na Caraíba Metais considerando os serviços com a transferência da água ácida até a outra empresa, onde se observa que mais da metade da massa a ser transportada é de água e atentar, também, para a nova destinação e tratamento do futuro resíduo. Finalmente, comparar com a hipótese inicial de ser secada na Caraíba Metais e comercializada junto a indústrias cimenteiras.

6.2.3 Determinação das Cargas Térmicas

A determinação das cargas térmicas das etapas selecionadas dá-se de formas distintas. A primeira através do cálculo teórico e uso da análise estatística do processo, a segunda, através de um balanço energético de um forno em operação e a última de resultados de uma planta piloto instalada na Empresa.

6.2.3.1 Gases de exaustão

O conhecimento do comportamento da energia térmica dos gases de exaustão dos

fornos de refino dá-se através da análise estatística por métodos quantitativos, de dados secundários, extraídos do sistema de controle do processo. Monitoram-se as etapas dos processos nos fornos de refino em um período determinado. O estudo segue etapas de coleta de dados, equações para cálculo da carga térmica e validação da amostra.

Para coleta de dados coletaram-se dados nas entradas e saídas das massas nos dois fornos de refino de todas as bateladas ou ciclos consecutivos nos primeiros cinco dias do mês de julho do ano de 2006, nas diversas etapas do processamento do refinamento do cobre à fogo da Caraíba Metais. Escolhe-se um período típico, ou seja, período normal de produção sem qualquer tipo de interrupção por paradas de manutenção, redução de carga ou até período de alta produtividade nos dois fornos de refino, por exemplo, quando se usa três fornos conversores e não dois para abastecer os dois fornos de refino.

Realiza-se a coleta de dados de três fontes distintas. A primeira do Sistema Integrado de Produção (SIP) onde se extrai informações sobre o número e produção de cobre do ciclo, etapa do processo, data e hora das medições e duração de cada uma das quatro etapas que em síntese são: forno em espera, em oxidação, em redução e em moldagem. Na segunda parte da coleta se prevê retirar do Sistema Supervisório de Controle (PLC) os registros de entrada de ar de combustão, oxigênio, gás para o queimador, ar e gás de processo e temperatura de saída dos gases. E por fim, realiza-se a coleta de dados de saída de massa de ar exaurida pelas chaminés de relatório técnico ambiental referente ao monitoramento das emissões atmosféricas da chaminé da área de refino, (BAHIA, 2001). Apesar do período não ser idêntico ao da amostra, consideram-se os dados, pela semelhança da vazão dos gases em amostras diferentes, conforme tabela 6. Ressalta-se que não se utiliza a entrada de massa ao sistema pois este difere da saída na chaminé em decorrência das entradas de ar falso desde a saída dos fornos de refino.

Tabela 6 - Vazão das emissões atmosféricas da chaminé da área de refino

Vazão Real na Condição Normal (m ³ /h)			
Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
191.915,28	180.243,10	187.759,19	186.639,19

Fonte: Bahia, 2001

Complementando os dados, estabeleceu-se a criação de uma coluna para registrar a carga térmica dos gases de exaustão nas diferentes etapas do processo.

A Figura 22 mostra o esquema simplificado da exaustão dos gases dos dois fornos de refino da Caraíba Metais para facilitar o entendimento.

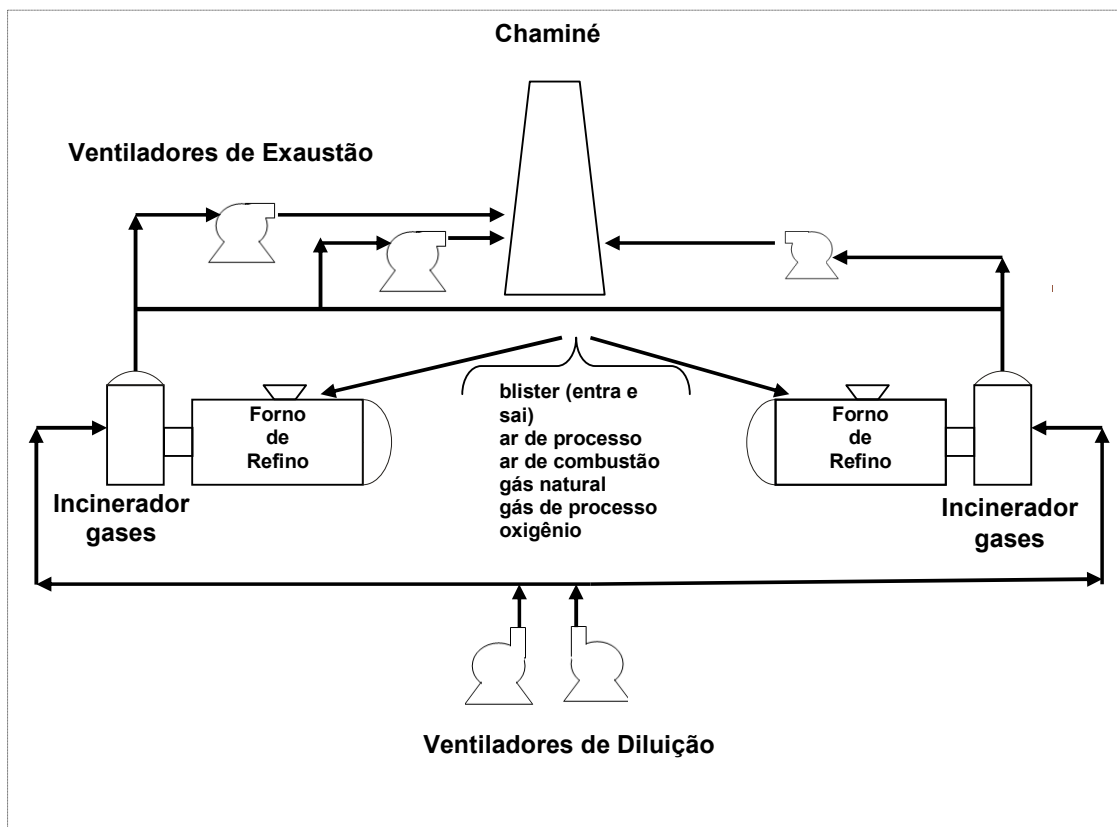


Figura 22 - Diagrama esquemático dos gases de exaustão dos fornos de refino
Fonte: o autor

Para o cálculo da carga térmica disponível dos gases, objeto da análise, se equaciona a seguinte forma:

$$\text{Carga Térmica: } Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{ex} - T_{ref})$$

Onde:

\dot{m} = vazão da massa do gás de exaustão (kg/h)

considerada 95.000 Nm³/h para cada forno (relatório de monitoramento)

ρ = densidade do gás = 1,3 kg/m³ (considerada pela análise dos gases monitorados)

$c_p = (0,92 + 0,002448 \times T) / 4,1868$ (kcal/kg^oK) = calor específico do gás

T = temperatura em K

Fator de conversão de kcal/kg para kJ/kg = x 4,1868

$T_{ex.}$ = (temperatura de exaustão dos gases na saída do fornos de refino entre 331K a 530K)

$T_{ref.}$ = (temperatura final de referência após forno de secagem) considerada de 343K

Para o cálculo das estatísticas usam-se específicos programas de informática que calculam o desvio padrão, variância e média das cargas térmicas em cada uma das quatro etapas avaliadas. Complementando o estudo do potencial térmico dos gases de exaustão calcula-se também a duração média, expressa em minutos, de cada etapa do processo.

Para construção de nova equação matemática que possa representar o comportamento da carga térmica disponível, avalia-se a possibilidade de realizar uma correlação entre outras variáveis de processo com a carga térmica mediante o uso de específicos programas de informática.

Para validação da amostra deste estudo realiza-se a análise estatística do processo por métodos quantitativos. Também com os específicos programas de informática, constroem-se e analisam-se histogramas, gráficos de tendências, testes estatísticos pelo “Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes” para permitir a validação das amostras. Também faz parte do processo a eliminação de registros espúlios pelo critério de *Chauvenet* para as cargas térmicas e duração das etapas.

6.2.3.2 Forno de Secagem de Escória

Para determinar a carga térmica necessária para secagem da escória beneficiada, destinada ao jateamento industrial, adota-se utilizar dados reais e realiza-se o balanço energético dos dois fornos de secagem em operação na Caraíba Metais.

O esquema apresentado na Figura 23 ilustra o processo de secagem atual da escória de um forno. O outro é semelhante e está instalado ao lado deste. Inicialmente a escória bruta, sem qualquer tratamento, é colocada próxima a esteira de carregamento. Manualmente o material é colocado sobre a esteira para na seqüência ser introduzido no forno rotativo. Através de pás helicoidais, na parede interna do forno e do giro do forno, o material se desloca à outra extremidade do forno contra a corrente de massa de ar quente proveniente de um queimador à óleo diesel e injeção de ar pressurizado. Na seqüência, a escória, já sem

umidade, é peneirada antes de se estar pronta, beneficiada.

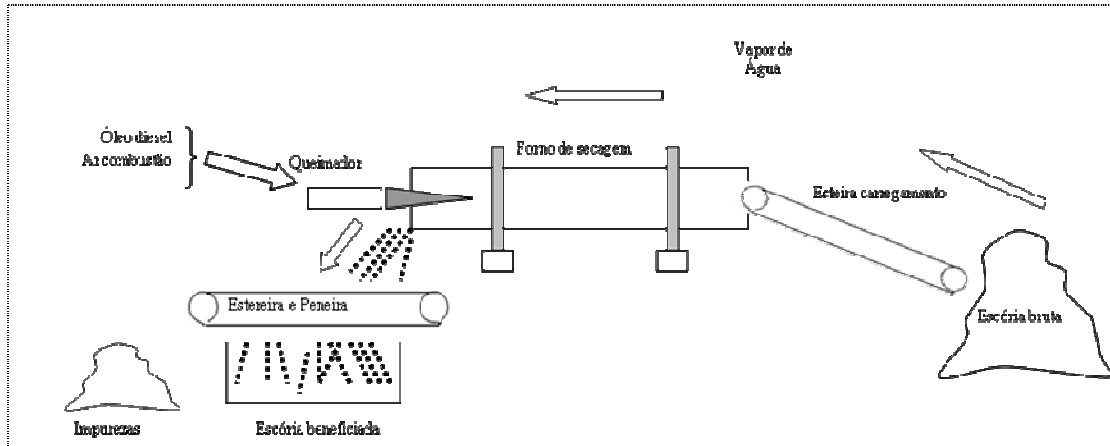


Figura 23 – Diagrama esquemático do processo de secagem de escória
Fonte: o autor

Para o cálculo da carga térmica requerida no processo se considera:

Energia requerida = Energia do óleo diesel + Energia do ar de processo

Energia do óleo diesel = $p_{ci} \times \dot{m}_c$

p_{ci} (poder calorífico inferior do óleo diesel) = 10.100 kcal/kg.

\dot{m}_c = vazão da massa do combustível (kg/h).

ρ = densidade do óleo diesel = 840 kg/m³

Energia ar de processo = $\dot{m}_{ar} \times c_p \times (T_f - T_o)$

\dot{m}_{ar} = vazão da massa do ar de processo em (kg/h)

considerada a vazão (Nm³/h) para cada forno, conforme especificação do compressor.

ρ = densidade do ar = 1,3 kg/m³ (adotada)

$c_p = (0,92 + 0,002448 \times T) / 4,1868$ (kcal/kg°C)

T = temperatura ambiente em K (adotada 303 K)

Fator de conversão de kcal/kg para kJ/kg = $\times 4,1868$

T_f = (temperatura do ar na entrada do forno secador) considerada a ambiente

T_o = (temperatura do ar na entrada do compressor = ambiente)

Considerando o não pré-aquecimento do ar de processo no sistema atual, a energia requerida para a secagem será representada apenas pela energia do óleo diesel.

6.2.4 Avaliação econômica

Na seqüência deste trabalho de pesquisa se apresentam os resultados deste estudo de caso. Para o processo de secagem de concentrado, mostram-se os potenciais de economia, estimativas de investimento para o novo modelo de secagem e expectativas de retorno do investimento. E no caso da secagem de lama de gesso apresenta-se a estimativa de custo com a inserção da etapa de secagem da lama de gesso considerando os custos operacionais, despesas com manutenção dos equipamentos e depreciação e comparam-se com a redução nos custos com o manuseio, transporte e aterro do resíduo com a retirada da massa de água contida na lama de gesso bruta mediante vaporização. Da mesma forma que na secagem da escória apresenta-se a expectativa com o retorno do investimento após implantação do projeto água-ácida onde se reduziu o aterro do resíduo em cerca de 80%. Para ambos os casos, o cálculo do tempo de retorno considerou taxa de juros BNDES para financiamento de projetos de investimentos de eficiência energética.

Também é expresso o quanto a redução a ser obtida representa no contexto geral da energia gasta na Caraíba Metais, na Fundição e Conversão, no total de combustíveis fósseis da Empresa e finalmente fósseis na Fundição e Conversão.

6.2.5 Avaliação ambiental

No aspecto ambiental deste estudo de caso apresenta-se a correspondência entre quantidade de redução de emissão de CO_2 e o número de árvores necessárias para neutralizar essa mesma quantidade. Outra exposição trata dos espaços liberados pelo aterro industrial e correspondência com as oportunidades destas áreas se integrarem ao programa da Caraíba Metais referente à recuperação florestal em torno da Empresa.

6.3 OUTRAS OPORTUNIDADES ENERGÉTICAS

A metodologia adotada para indicação de outras oportunidades de aproveitamento da carga térmica nas diversas etapas do processo pirometalúrgico considera o modelo de pesquisa, análise documental, onde se buscam bibliografias das características de projeto, artigos sobre experiências desenvolvidas em outras metalurgias de cobre espalhadas nos diversos países produtores e trabalhos de empresas especializadas que entre outras informações, detêm registros de desempenho energético de cada uma delas. Outras experiências e projetos de eficiência energética, especificamente no ramo do aproveitamento térmico dos gases de exaustão ocorridos em siderurgias brasileiras também são relatadas neste trabalho. Estas estão inseridas como apêndice à pesquisa visto que as melhorias não estão relacionadas diretamente ao processo de transformação do cobre.

O estudo de experiências e projetos desenvolvidos em metalurgias de cobre baseia-se, principalmente, na configuração das plantas metalúrgicas de cobre japonesas detentoras dos melhores índices de desempenho energético, onde de seis cinco fazem aproveitamento da carga térmica dos gases dos fornos conversores em caldeiras de recuperação de calor. Por esta razão, levanta-se graficamente a correlação entre esta configuração e o desempenho energético destas metalurgias. Na seqüência, após análise da correlação, estima-se o potencial energético da carga térmica exaurida nos atuais fornos conversores da Caraíba Metais.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 INDICADORES DE DESEMPENHO E ANÁLISES

7.1.1 Preço da Energia

Na questão apenas do preço energético pago em Joules pelas metalurgias em seus países de origem, a Caraíba Metais quando comparada a outras quarenta e quatro metalurgias de cobre espalhadas ao redor do mundo, possui o quinto menor preço, conforme edição Hunt, dados de 2004. Sem dúvida, isso contribuiu positivamente na formação do custo competitivo, em 2004, na etapa pirometalúrgica da Empresa. No entanto, a aplicação e uso dos dados levantados relativos aos preços devem ser cautelosos. Como exemplo, cita-se a elevada valorização da moeda brasileira, real, frente ao dólar americano entre o ano de 2004 e 2008. O preço da energia pago, pela metalurgia brasileira, em dólar em 2008, principalmente, pela elevada variação cambial do dólar, praticamente, dobra os valores em relação à publicação Hunt 2004. A edição Hunt 2008, a ser publicada em 2009, poderá confirmar a alteração no *ranking* da Empresa em decorrência da valorização do real sobre o dólar.

Na Figura 24, é expresso o comparativo dos preços por regiões. Neste caso, a variação cambial em um determinado país seria menos prejudicial na formação do preço da região, tornando-o mais aplicável. Assim, é extraído o preço da energia por regiões, ou seja, à América do Norte, Austrália, Leste da Europa, África, América Latina, Oeste da Europa e outras regiões da Ásia. Observa-se que o Japão possui o maior custo com energia quando não é considerada na formação da média aritmética a metalurgia de Onahama. Esta é a única no mundo que recebe créditos por utilizar pneus usados como geração de energia.

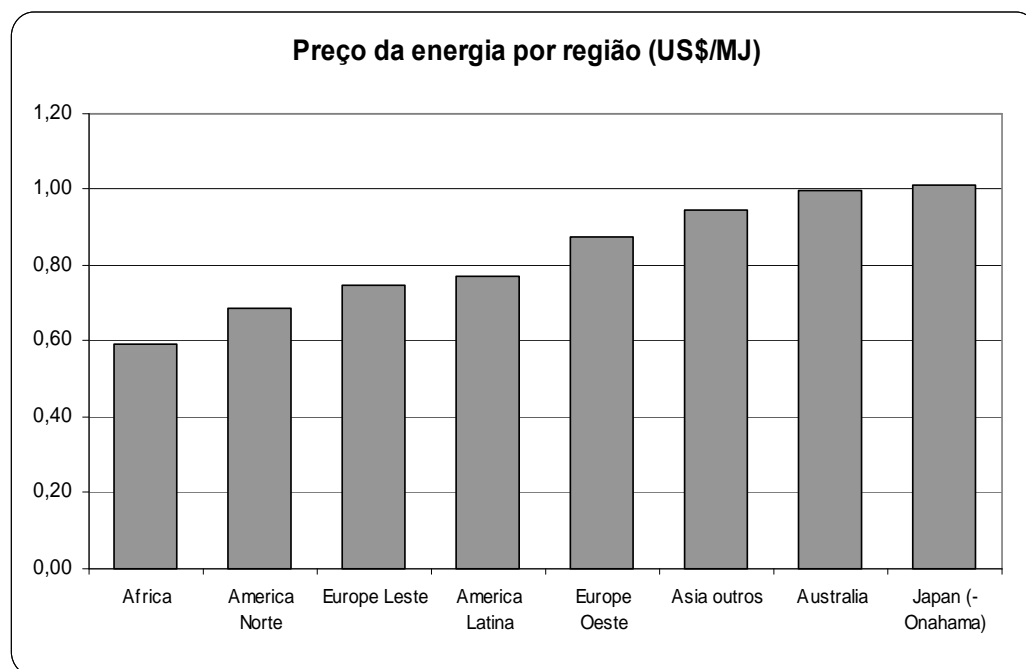


Figura 24 – Preço da energia por regiões

Fonte: Brook Hunt, 2005

7.1.2 Uso e Custo das Fontes de Energia na Caraíba Metais

A parcela do custo da energia na transformação do minério concentrado de cobre em anodo corresponde aproximadamente em 21%. Na Figura 25 são apresentados comparativos individuais de cada tipo de energia. Consiste em comparar o preço da Caraíba Metais com a média entre as outras metalurgias para cada fonte de energia. É relevante observar o preço menor em 50% do gás natural na Caraíba Metais quando comparado com a média envolvendo todas as metalurgias e por outro lado o preço maior do óleo combustível em 40%.

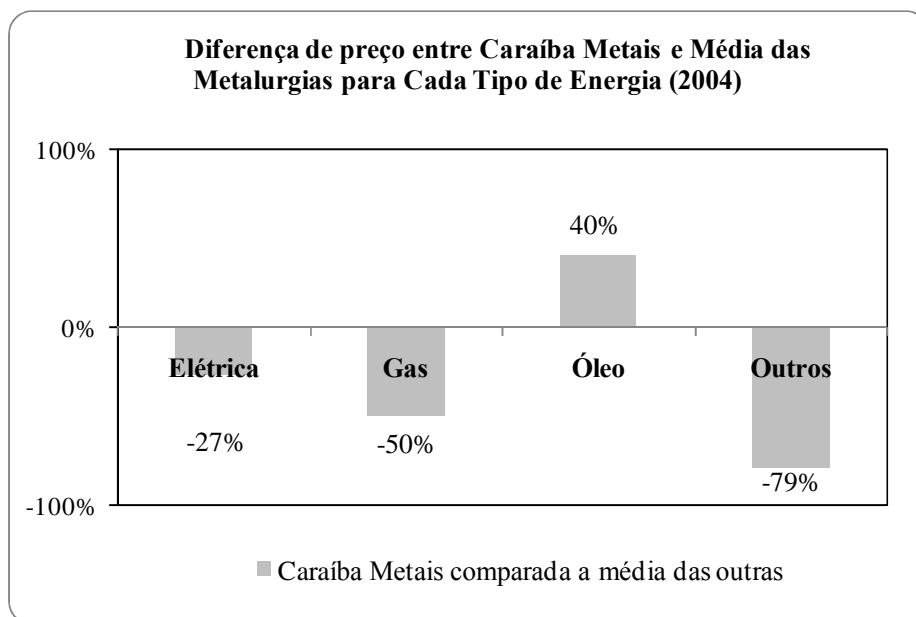


Figura 25 – Comparação entre Caraíba Metais e as outras metalurgias

Na seqüência é apresentada a quantidade utilizada das diferentes formas de energia no processo pirometalúrgico do cobre na Caraíba Metais, Média Geral e média entre as que utilizam tecnologia Flash. O gráfico, Figura 26, revela que a Caraíba Metais adota a estratégia correta de utilizar o gás natural como principal fonte de energia já que seu preço é bem menor quando comparado a outras metalurgias. Outro aspecto positivo é o consumo baixo de óleo cujo preço na Caraíba Metais é maior que a média paga pelas demais metalurgias.

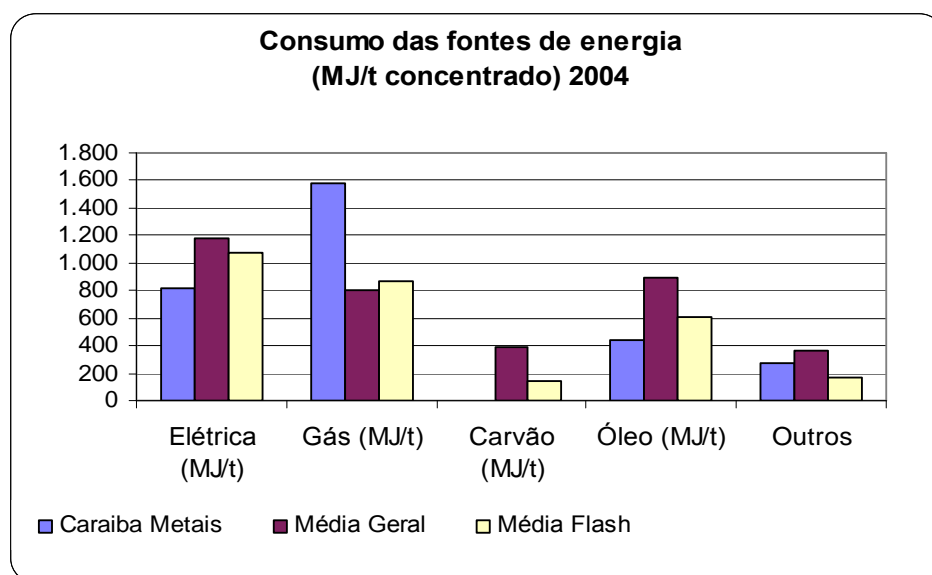


Figura 26 Consumo específico de energia em 2004

7.1.3 Matriz Energética Caraíba em 1999 e 2004

Na seqüência é comparado o consumo das diferentes fontes de energia na Caraíba Metais em 1999, época em que os processos consumiam óleo e não gás natural com o ano de 2004. Conforme Figura 27, é nítida a mudança no consumo na Caraíba Metais no uso do gás natural e óleo entre os anos de 1999 e 2004.

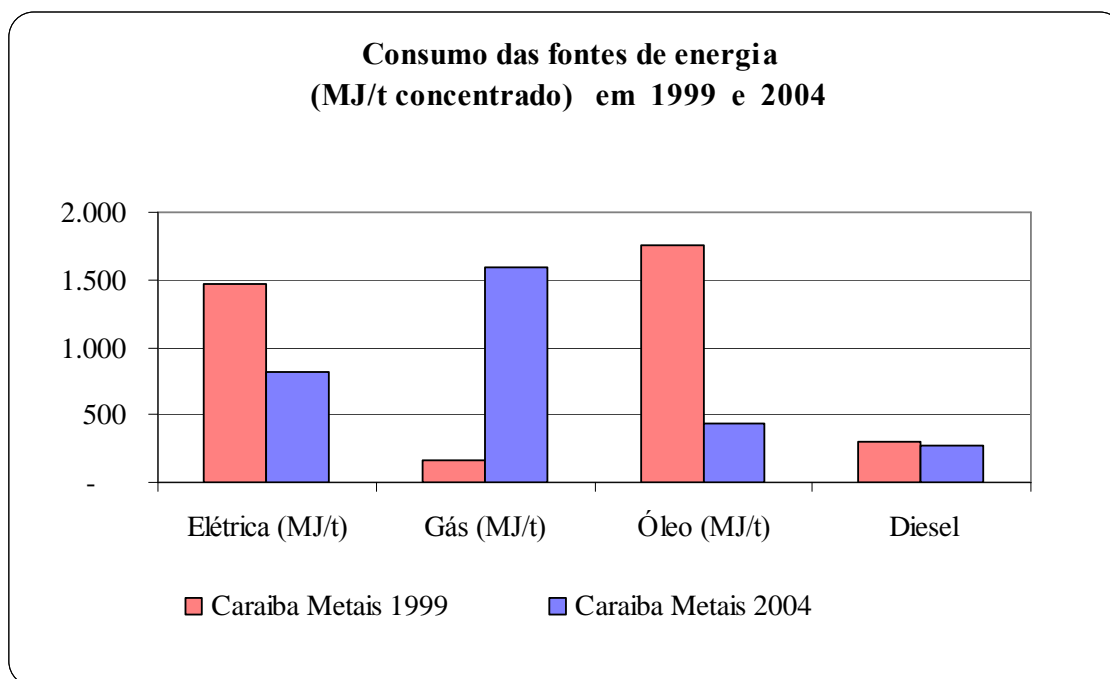


Figura 27 – Consumo específico de energia em 1999 e 2004

Para demonstrar a decisão acertada da Caraíba Metais, em investir em mudanças operacionais e em novos equipamentos para adaptação de sua planta ao uso do gás natural se ilustra a Figura 28 onde é nítida a tendência da oportunidade do preço do gás natural para Caraíba Metais entre os anos de 1999 e 2004, ao contrário do óleo.

Observa-se que é possível retornar ao processo que usava óleo combustível caso ocorra alteração na oferta do gás e elevação significativa no seu preço.

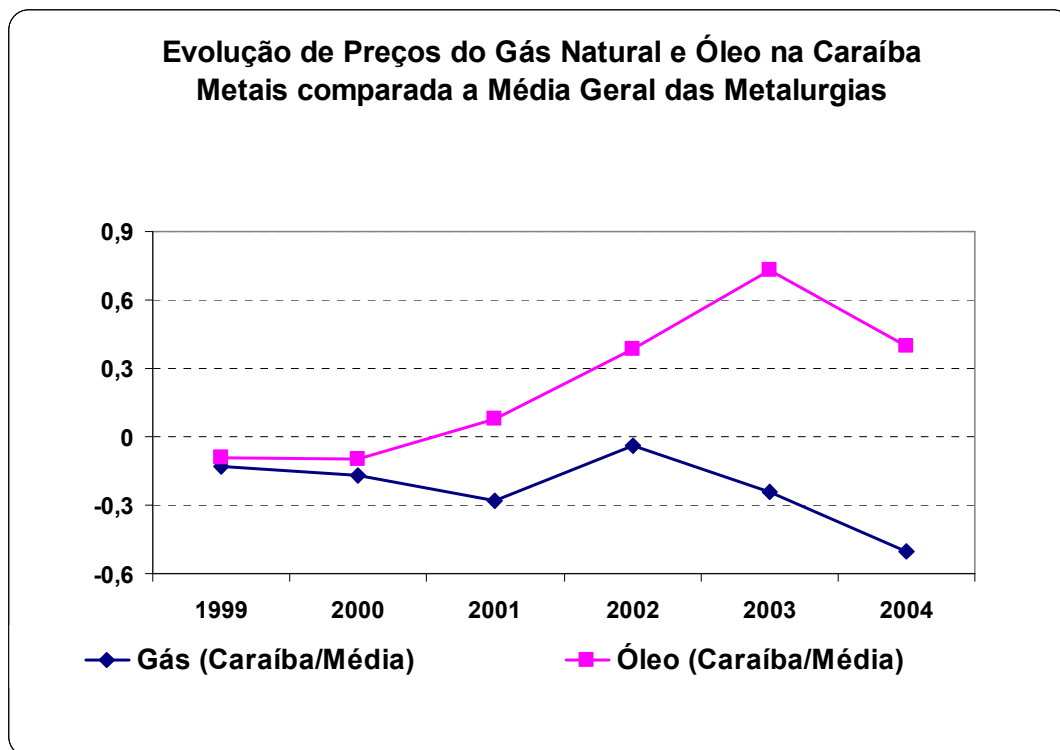


Figura 28 – Evolução de preços relativos do gás natural e óleo

7.1.4 Consumo energético por cobre produzido

Na Figura 29 é comparada a Caraíba Metais a todas as outras quarenta e quatro metalurgias de cobre quanto ao consumo de energia expresso em mega Joules por tonelada de cobre produzido (MJ/t). A análise do gráfico revela que a Caraíba Metais fica posicionada na décima primeira colocação sendo que as dez metalurgias com melhor desempenho produziram uma média anual de cobre extraído de concentrado de 269,1 toneladas contra a média de 154,6 toneladas de cobre das demais 34 situadas após a Caraíba Metais. Essa análise leva a conclusão que a maior capacidade produtiva contribui para redução do consumo energético de uma unidade pirometalurgica de cobre e esta capacidade está representada na largura de cada barra do gráfico.

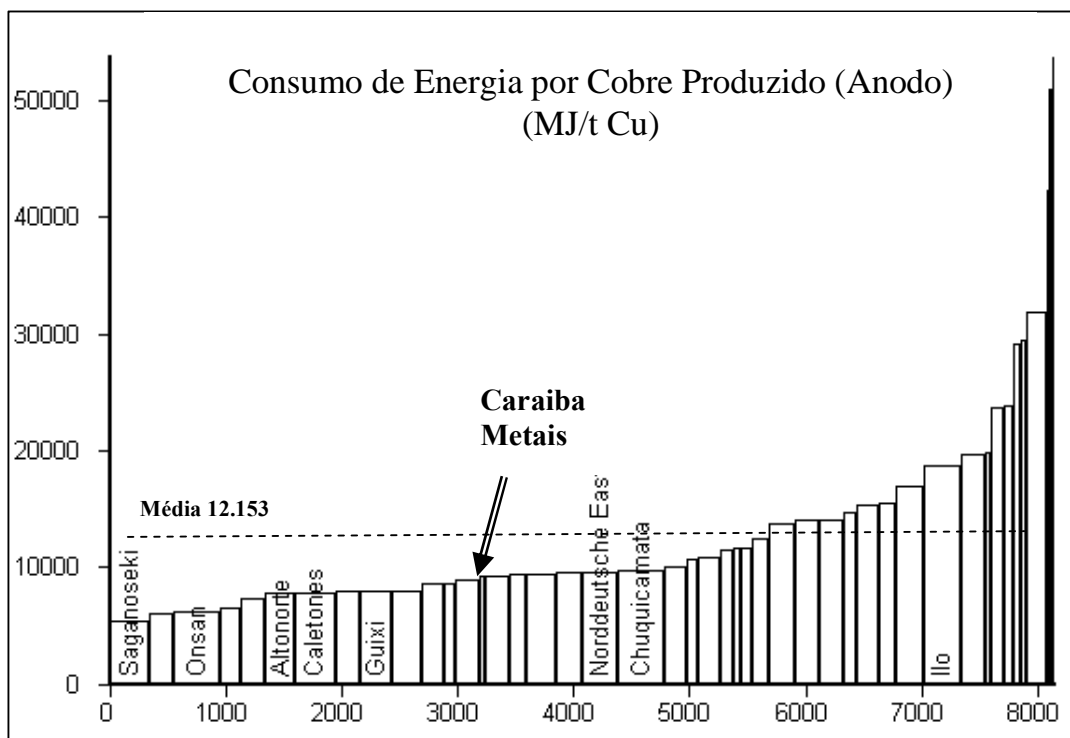


Figura 29 – Consumo de energia das metalurgias

Fonte: Brook Hunt, 2005

Também foi comparado o desempenho energético das diversas tecnologias pirometalúrgicas existentes para transformação do minério concentrado em anodo de cobre. A Figura 30 detalha o desempenho de cada uma delas e indica a quantidade de empresas por tecnologia. A Caraíba Metais se inclui entre as 16 metalúrgicas que empregam a tecnologia *Flash Smelter* e nota-se que é a tecnologia mais empregada e a que possui melhor desempenho energético.

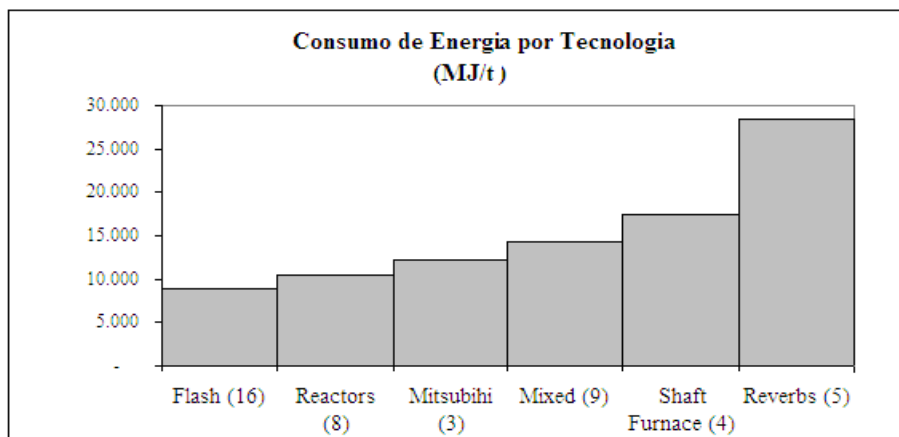


Figura 30 – Consumo de energia das metalúrgicas por tecnologia

Fonte: Brook Hunt, 2005

Já, a Figura 31 mostra o desempenho energético da metalúrgica brasileira e o compara às outras quinze que utilizam a tecnologia *Flash Smelter*. Avaliando os indicadores que caracterizam o desempenho energético da unidade pirometalúrgica, áreas da fundição e refino a fogo, nota-se que a empresa brasileira possui um consumo mediano de energia para produção de cada tonelada do metal. Como a empresa ficou na oitava colocação, acredita-se na existência de oportunidades para a melhoria de sua eficiência energética.

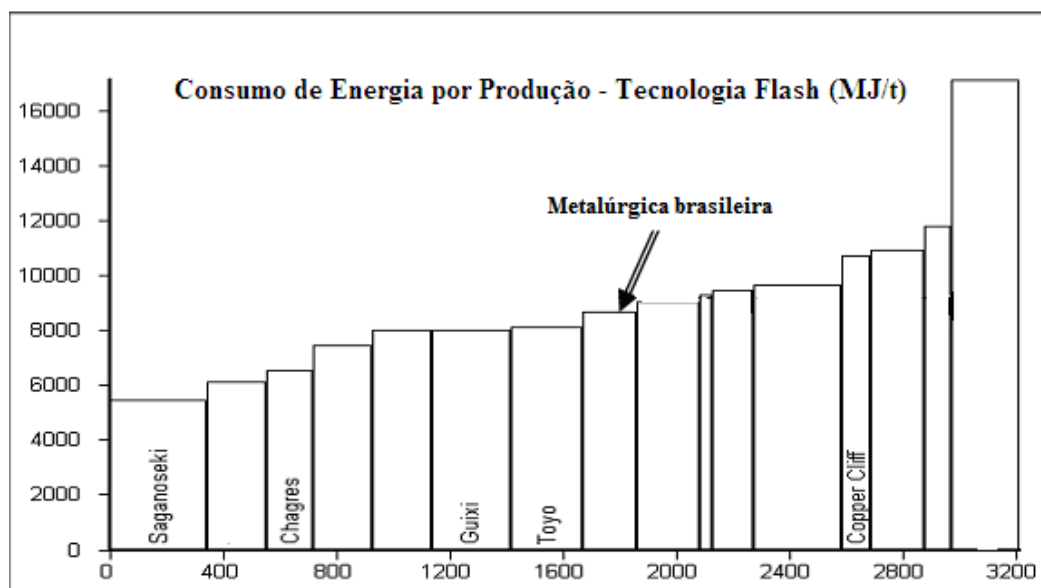


Figura 31– Consumo de energia das metalúrgicas com tecnologia *Flash Smelter*

Fonte: Brook Hunt, 2005

7.1.5 Análise geral dos indicadores

Avaliando os indicadores que caracterizam o desempenho energético da unidade pirometalúrgica, áreas da fundição e refino a fogo da Caraíba Metais, nota-se que apesar de deter um dos menores custos de produção, a Caraíba Metais possuiu desempenho mediano na questão de consumo das energias para produção de cada tonelada de cobre na forma de anodo, quando comparada às empresas que utilizam a mesma tecnologia, *Flash Smelter*. Deduz-se que pressões externas do mercado e ambiente interno da organização exercendo pressões sobre a produção, aliada ao preço baixo da energia no Brasil e custo operacional competitivo da metalurgia, podem tirar o foco do desenvolvimento de políticas e estratégicas da Empresa na busca por maior eficiência energética e ambiental. Por outro lado, se constata que a Empresa está atenta à necessidade de reduções contínuas nos custos de produção, prova disso

foram os investimentos acertados em sua unidade quando efetuou modificações em suas instalações para consumir gás natural ao invés de óleo.

7.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Antes de relatar o resultado do estudo de caso demonstra-se a carga térmica disponível a ser aproveitada em cada forno. Também estão no apêndice deste trabalho os detalhes estatísticos do estudo. Em síntese, conforme tabela 7, resumo, cada etapa do processo possui potencial térmico diferente com médias variando entre $1,9 \times 10^6$ kcal/h a $6,9 \times 10^6$ kcal/h. Ainda na seqüência são mostrados os limites inferior e superior de cada etapa.

Tabela 7 – Estatísticas da carga térmica por etapa

<i>Estatísticas após eliminação de Chauvenet (Carga Térmica)</i>				
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Média (Kcal/h)	1 895 739	3 761 531	6 888 898	3 241 496
Erro padrão	319 319	533 749	502 713	401 987
Mediana	1 622 483	3 557 338	6 381 792	3 712 511
Modo	1 287 588	4 237 239	5 063 288	5 649 466
Desvio padrão	1 596 595	2 559 770	2 513 565	1 969 324
Variância da amostra	3,E+12	7,E+12	6,E+12	4,E+12
Curtose	-1	1	0	-1
Assimetria	0	1	0	0
Intervalo	5 460 279	10 276 804	9 121 516	6 659 350
Mínimo	- 461 399	104 122	2 954 410	- 612 599
Máximo	4 998 880	10 380 926	12 075 926	6 046 750
Soma	47 393 463	86 515 215	172 222 448	77 795 898
Contagem	25	23	25	24
Nível de confiança (95,0%)	659 042	1 106 929	1 037 548	831 571
tc	2,06	2,07	2,06	2,07

Estimativa da Média da População				
x-tc*desvio padrão da média (Limite Inferior)	1 236 697	2 654 604	5 851 349	2 409 923
x+tc* desvio padrão da média (Limite Superior)	2 554 780	4 868 459	7 926 447	4 073 068

Complementando o estudo estatístico deste trabalho apresenta-se também a análise do tempo de cada uma das quatro etapas, conforme demonstrado na tabela 8. Constata-se que a etapa (1) com menor carga térmica é a que demonstra maior duração e corresponde ao carregamento do forno e paralisações durante o processo.

Tabela 8 – Tempo por etapa

<i>Estatísticas após eliminação por Chauvenet (Duração das Etapas)</i>				
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Média (duração em minutos)	216,04	83,91	92,80	183,58
Erro padrão	17,06	8,44	3,32	5,42
Mediana	215,00	90,00	95,00	179,50
Modo	225,00	120,00	90,00	155,00
Desvio padrão	81,80	40,48	16,59	26,54
Variância da amostra	6 690,95	1 638,54	275,17	704,60
Curtose	0,33	- 0,44	- 0,49	- 1,06
Assimetria	0,16	- 0,18	- 0,51	0,08
Intervalo	351,00	155,00	60,00	96,00
Mínimo	39,00	0,00	60,00	139,00
Máximo	390,00	155,00	120,00	235,00
Soma	4 969,00	1 930,00	2 320,00	4 406,00
Contagem	23,00	23,00	25,00	24,00

7.2.1 Resultado Econômico e Análise ao Estudo de Secagem de Escória Granulada

A carga térmica desprendida no processo atual de secagem de concentrado está representada na tabela 9.

Tabela 9 – Carga térmica para escória

Cálculo Referente a Secagem de Escória Beneficiada	
Consumo óleo diesel para os fornos (L/1000kg escoria beneficiado)	9
Beneficiamento mensal (t/mês)	5.000
Poder calorífico inferior do óleo diesel (kcal/kg)	10.100
Densidade do óleo diesel (kg/m ³)	840
Energia desprendida no mês (kcal/mês)	381.780.000
Considerando duas jornadas de trabalho para os dias úteis no mês (h)	320
Energia térmica necessária (kcal/h)	1.193.063

Desta forma se conclui que a energia térmica necessária para secagem de 5.000 toneladas mensais, ou seja, média de $1,2 \times 10^6$ kcal/h pode ser substituída pela energia térmica de apenas um dos dois fornos de refinamento a quente da Caraíba Metais. O limite inferior da

amostra foi, também, de $1,2 \times 10^6$ kcal/h e a média ponderada da carga térmica dos gases a serem aproveitados é de $3,4 \times 10^6$ kcal/h. Assim, mesmo ocorrendo anomalias no sistema e valores menores que o limite inferior entende-se que esses momentos podem ser compensados por ajustes de processo mediante variação da velocidade do forno secador rotativo alterando o tempo de permanência do resíduo no interior do forno, ou seja, se remove a umidade contida de acordo com a carga térmica disponível.

Portanto o potencial anual do ganho desta possibilidade se resume em cerca de R\$980 mil com retorno do investimento em cinco anos, conforme tabela 10.

Tabela 10 – Tempo de retorno do investimento para secagem de escória

Investimento (fornos, dutos, refratário, lay out e outros)	R\$ 3.900.000,00
Redução Anual (custo com óleo diesel)	R\$ 980.000,00
Retorno do Investimento (considerado taxa de juros para o financiamento de 8,25% ao ano)	5 anos

Para ilustrar o quanto a economia deste estudo de pesquisa representa, é apresentado na seqüência, a Figura 32 que ilustra a economia a se obter com a implementação deste projeto. Mostra o quanto a redução representa em relação ao total de custo com energéticos na Caraíba Metais, depois com o custo com energéticos somente na fundição e conversão, na seqüência com o custo com combustíveis fósseis na Empresa e, finalmente, mostra o quanto a redução deste projeto representa com o total de custo com combustíveis fósseis somente na Fundição e Conversão, área onde se aplica o projeto.

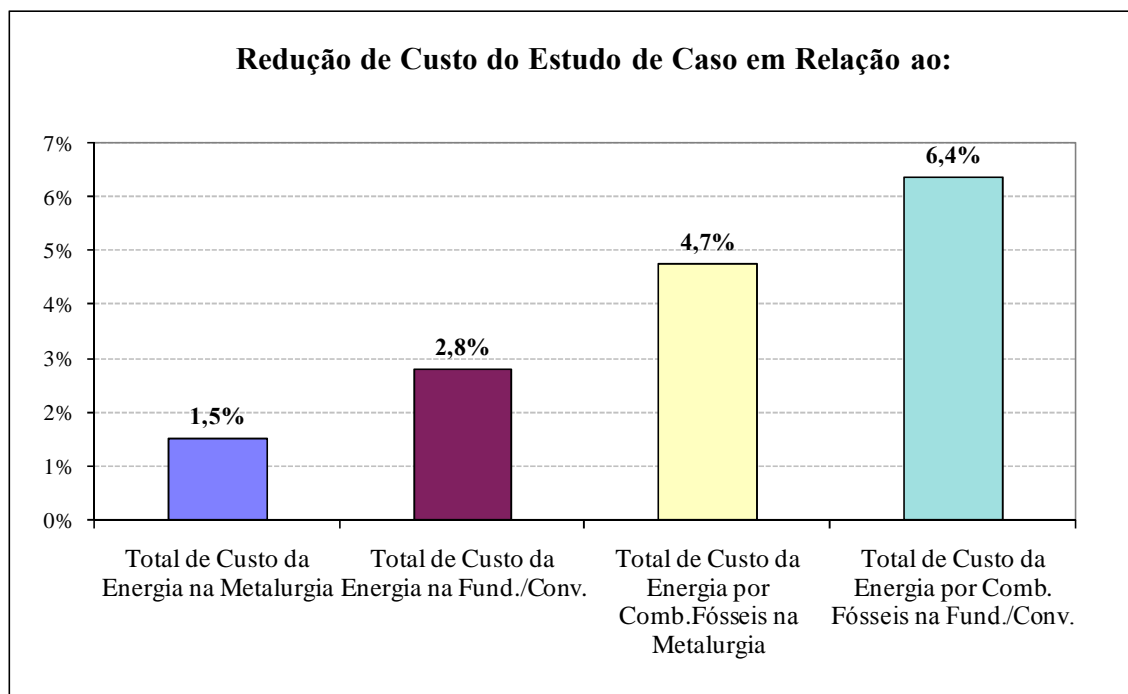


Figura 32 – Representatividade da Redução de Custos do Estudo de Caso

7.2.2 Resultado Ambiental da Secagem de Escória

Além do ganho financeiro anual na ordem de R\$ 980 mil, destaca-se outro aspecto positivo relevante a este estudo de caso que é a redução de emissão de CO₂ na atmosfera, altamente benéfico ao meio ambiente. A figura 33 mostra o total estimado de emissões de CO₂ na Caraíba Metais, as emissões por combustíveis fósseis na Fundição e Conversão e quais as contribuições de cada combustível.

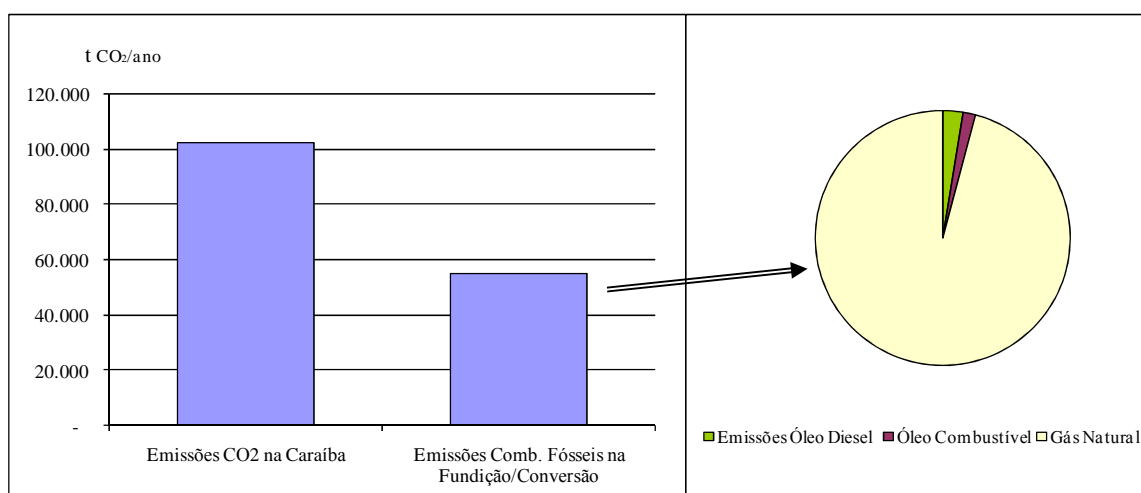


Figura 33 – Emissões de CO₂ do Estudo de Caso, base 2006

Fonte: Estimativas do autor

Outro aspecto relevante analisado neste estudo de caso refere-se à redução de emissão de CO₂ na atmosfera. A Figura 34 mostra a equivalência entre emissão de CO₂ que deixam de ser emitidos na atmosfera e quantidade de árvores necessárias para essa neutralização.

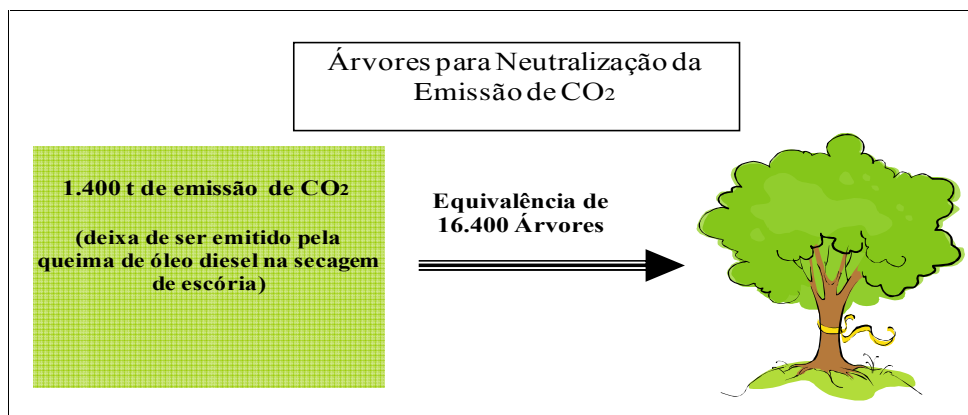


Figura 34 – Árvores para Neutralização de CO₂

Fonte: Estimativa do autor

7.2.3 Resultado e Análise ao Estudo de Secagem de Lama de Gesso

A carga térmica necessária para secagem da lama de gesso, processo inexistente na Caraíba Metais foi obtida de dados experimentais de uma instalação de planta piloto. A experiência contou com a participação de empresa especializada em desenvolvimento de soluções ambientais. Para ficar coerente com o projeto água-ácida, em vias de aprovação, foi simulado neste estudo de caso considerar a lama que restará a ser tratada, ou seja, cerca de 20% das atuais 11.500 toneladas deste resíduo gerado hoje. Em síntese, para a demanda futura, considerando o projeto água-ácida, a carga necessária requerida seria de $1,2 \times 10^6$ kcal/h, conforme tabela 11.

Tabela 11 – Carga térmica para lama de gesso

Cálculo para Secagem de Lama de Gesso	
Demanda (t/mês)	2.300
Carga da lama no forno proposto (kg/h)	7.500
Carga requerida no forno proposto (kcal/h)	2.830.000
Capacidade mensal no forno proposto com uso 24h (t)	5.400
Carga térmica requerida para a demanda (kcal/h)	1.205.370

Portanto, a carga térmica de um dos fornos seria suficiente para secar a lama de gesso a ser gerada. Assim, após tratamento, torna-se possível comercializá-lo junto às indústrias cimenteiras.

O potencial anual do ganho desta possibilidade se resume na eliminação dos custos com disposição de resíduo e representa um ganho anual estimado em cerca de R\$ 840 mil com retorno do investimento em cinco anos e meio, conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Tempo de retorno do investimento para secagem de lama de gesso

Investimento (forno, scrubber, dutos, refratário, lay out e outros)	R\$ 3.800.000,00
Redução Anual (construção de aterro e manuseio do resíduo)	R\$ 840.000,00
Retorno do Investimento (considerado taxa de juros para o financiamento de 8,25% ao ano)	5,5 anos

Além do ganho financeiro, também existem ganhos ambientais com a liberação do espaço reservado para aterro do resíduo para outras finalidades a exemplo de plantio de árvores, conforme demonstrado na tabela 13.

Tabela 13 – Área do aterro de resíduos

Área aproximada dos aterros da caraíba Metais	180.000
<u>Substituindo-se a Área do Aterro por Reflorestamento</u>	
Total de Árvores (admitindo-se 1.110 eucaliptos/ha)	20.000
Capacidade de Neutralização de CO ₂ (t / ano)	1.700
Equivalente à Queima de Óleo Diesel (L /ano)	650.000

7.3 RESULTADOS E ANÁLISE DE OPORTUNIDADES ENERGÉTICAS

Conforme pesquisa realizada de projetos e experiência de outras metalurgias de cobre na busca de melhorar a eficiência energética da planta, tornou-se possível evidenciar outras oportunidades a serem pesquisadas sobre o tema na Caraíba Metais, ou seja, novos

estudos podem fazer parte de novos rumos de pesquisa. Destaca-se desta pesquisa o potencial de aproveitamento térmico dos gases exauridos dos três fornos conversores da Caraíba Metais, atualmente resfriados sem nenhum tipo de aproveitamento. Apenas para se ter uma idéia das referências mundiais, no Japão, onde estão os melhores indicadores de desempenho energético, das seis metalurgias de cobre cinco recuperam a energia térmica exaurida dos fornos conversores em caldeiras de recuperação de calor.

As metalurgias com diferentes tecnologias que fazem o aproveitamento do uso de gases quentes dos fornos conversores em caldeiras de recuperação de calor para geração de vapor estão apresentadas na Figura 35. A comparação do consumo energético dessas metalurgias com a média geral pode dar noção do quanto esse aproveitamento térmico pode contribuir no desempenho energético da metalurgia.

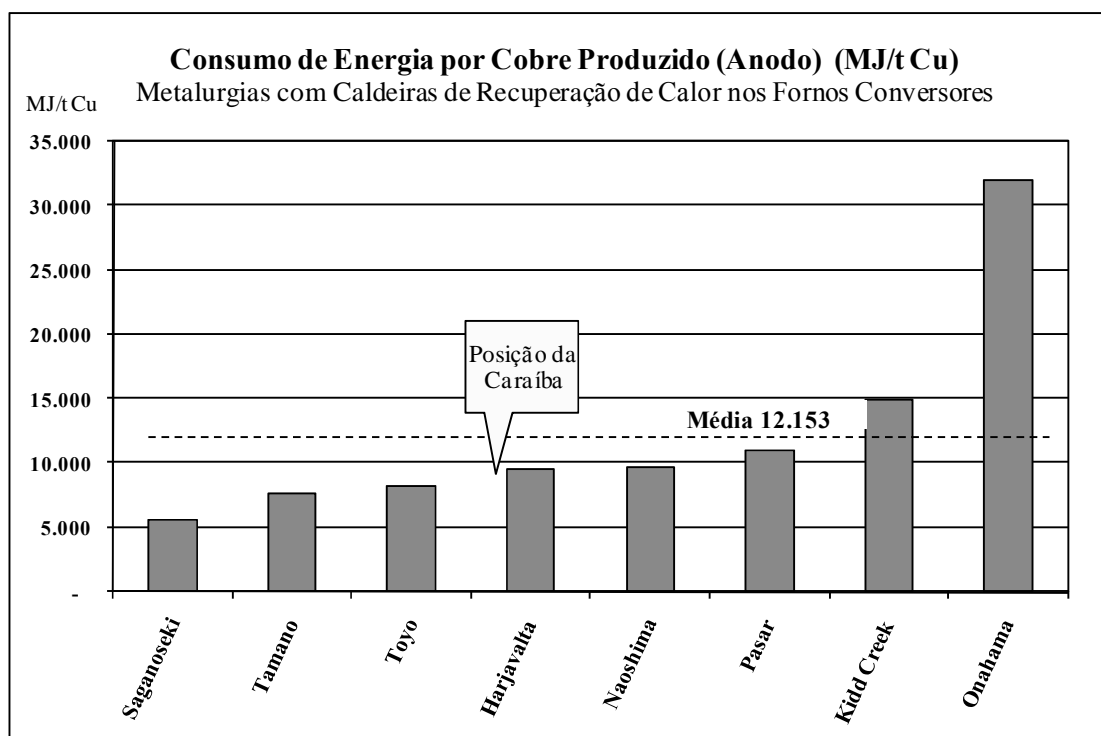


Figura 35 – Desempenho Energético das Metalurgias com Caldeiras nos Fornos Conversores

Fonte: Adaptado do Brook Hunt, 2005

Dessa forma busca-se estimar o potencial de reaproveitamento térmico dos fornos conversores da Caraíba Metais que são do tipo sifão, com patente original da Hoboken (Bélgica) e aperfeiçoado pela Bipromet (Polônia). Na área da Conversão existem três

unidades, fabricadas pelo consórcio Usimec – Bipromet. Todos os componentes são de fabricação nacional.

Normalmente 2 (dois) operam e 1 (um) fica em manutenção de refratário. O processo é autogênico. A energia térmica necessária provém das reações químicas exotérmicas que se verificam entre a carga líquida a 1.200°C e os 26 mil Nm³/h de ar de processo introduzido no forno, enriquecido com oxigênio. Os gases contendo 8% a 10% de SO₂, objeto de estudo, são enviados através do sifão, câmara de pó, câmara de despoeiramento, resfriador de gases, precipitador eletrostático até a unidade de extração de ácido sulfúrico. Os gases, cerca de 40 mil Nm³/h, saem do forno, passam pela câmara de pó a 1.050°C, entram no resfriador de gases a 950°C e são resfriados até 350°C. A refrigeração é por meio de circulação de ar proveniente de um ventilador variável que permite o controle da temperatura de saída dos gases. O ar captado da atmosfera é aquecido após troca térmica com os gases dos fornos e depois é exaurido de volta para a atmosfera sem nenhuma forma de aproveitamento.

Características e Especificações

Diâmetro da carcaça 4.160mm

Comprimento 11.500mm (ampliado)

Números de ventaneiras 42 (utilizam-se 36)

Diâmetro das ventaneiras 2”

Revestimento interno refratário cromo magnésiano (330t)

Capacidade 180t de matte

Vazão média de ar 26 mil Nm³/h

Processo utilizado oxidação

Tabela 14 - Tempo padrão de operação dos conversores

02 conversores a quente	
01 conversor em manutenção	
Tipo de operação	Batelada/Ciclo
1ª Etapa – carregamento	60min
2ª Etapa – sopro de escória	120min
3ª Etapa – sopro de cobre	300min
4ª Etapa – vazamento de blister	30min.
5ª Etapa – preparação	40min
Tempo Total de Ciclo	520min
Vazão média de ar de processo	26.000 Nm ³ /h

Fonte: Caraíba Metais, 2006

Portanto, o potencial estimado do aproveitamento térmico é de cerca de 2×10^6 kcal/h, equivalentes a um ganho anual estimado de R\$ 1,1 milhão, considerando-se a geração de vapor para entre outros aproveitamentos utilizar na secagem de *blend*, reduzindo-se o consumo do gás natural.

Refletindo-se sobre os resultados alcançados nos diferentes objetivos específicos e contextualizando os potenciais de ganhos na redução de combustíveis fósseis sobre o consumo atual na Empresa, constata-se um impacto sobre o fator 10 de forma modesta. No entanto, quando se considera apenas o sistema de secagem de escória granulada e o potencial do ganho em zerar o consumo atual de combustíveis fósseis, nota-se que, para este processo, o fator 10 fica plenamente atingido.

8. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O primeiro resultado produzido nesta pesquisa, contextualizar o desempenho energético das áreas da Fundição e Conversão, etapa pirometalúrgica, da Caraíba Metais mediante indicadores que comparam a metalurgia de cobre brasileira às outras metalurgias por região e por tecnologia, permitiu avaliar como a Caraíba Metais está posicionada neste segmento de mercado, no tema energia, bem como, melhorar a compreensão das estratégias adotadas para as questões energéticas na Caraíba Metais e, por fim, mostrar possibilidades de oportunidades de melhorias na questão energética mediante indicação de outras metalurgias com melhores referências no desempenho energético. Para se ter uma noção destas oportunidades, realizando-se uma simulação da análise estatística da amostra do desempenho energético das 16 metalurgias de cobre, que utilizam a mesma tecnologia da Caraíba Metais, *Flash*, chega-se a uma média de 8.662 MJ/tCu, considerando-se que na etapa de eliminação de registros espúlios pelo critério de Chauvenet, a metalurgia de Garfield é excluída da formação da média. Portanto, especulando-se a hipótese de implementar melhorias até que a Caraíba Metais se iguale a média destas empresas, projeta-se um ganho anual financeiro na ordem de R\$ 9 milhões além de ganhos ambientais com a redução de emissões de CO₂ na atmosfera.

O segundo estudo de caso, referente ao aproveitamento térmico dos gases residuais dos fornos de refino como fonte de energia para a secagem de resíduos industriais, sugere expectativas otimistas com a identificação de possibilidades reais de melhoria na questão energética da Caraíba Metais. O potencial de ganhos financeiros anuais neste estudo chega à ordem de R\$ 1,82 milhão, já que os cálculos revelam que a carga térmica exaurida nos dois fornos possibilita implementar a secagem dos dois resíduos, simultaneamente. Outros importantes aspectos favoráveis à implantação deste estudo de caso referem-se às externalidades positivas ou ganhos ambientais. No primeiro estudo, a redução de emissão de CO₂ na atmosfera contribui para o combate ao efeito estufa e os impactos ambientais

negativos com a elevação da temperatura do planeta e a equivalência desta redução de CO₂ se igualam a 2 149 árvores para sua neutralização. No segundo, ganhos com a liberação de áreas destinadas aos aterros industriais para espaços onde se podem replantar árvores e promover a qualidade do ar e a manutenção dos corpos hídricos, essências principalmente próximos de centros urbanos pelo impacto na saúde da população, como é caso dos vilarejos ao redor da Caraíba Metais.

O terceiro resultado, pesquisa e identificação de potenciais oportunidades em outros caminhos por melhor desempenho energético da Caraíba Metais, conclui haver oportunidades a serem espelhadas, principalmente das metalurgias de cobre japonesa que possuem os melhores indicadores de desempenho energético por aproveitar os elementos químicos energéticos presentes no minério concentrado de cobre. No caso delas, mediante instalações de caldeiras de recuperação de calor nas saídas dos fornos conversores, etapa do processo onde a maioria, 82% das metalurgias, não o faz. Outro caminho de pesquisa por projetos bem sucedidos sobre o tema pode vir de segmentos de mercado semelhante como é o caso de siderurgias, ou seja, é essencial a busca permanente em diversos rumos de pesquisa por melhorias na eficiência energética da Caraíba Metais e contribuir para que a empresa continue detendo custos operacionais competitivos entre as metalurgias de cobre.

Os três resultados produzidos nesta pesquisa revelam que o tema redução de combustíveis fósseis em uma metalurgia de cobre está intrinsecamente ligado ao gerenciamento de tecnologias limpas no processo produtivo, objeto de dissertação desta pesquisa e também demonstra o potencial em se obter ganhos ambientais através da redução na geração de resíduos para a atmosfera e preservação dos combustíveis fósseis não renováveis, bem como, econômicos com a redução do custo operacional para a produção do cobre. Estes aspectos certamente valorizam este tema de pesquisa, pois coloca a Caraíba Metais em posição de melhorar, ainda mais, seu destaque no cenário mundial do cobre contribuindo para manter-se neste mercado e ser uma empresa reconhecida mundialmente pela sua competitividade de seus custos, excelência de seus serviços e respeito ao meio ambiente. Algumas sugestões para futuros trabalhos são elencados na sequência.

- Balanço energético da unidade de produção de ácido sulfúrico;
- Balanço energético na unidade da laminação;

- Reanalisar estudo desenvolvido pela P&M, em 1993, referente ao diagnóstico energético na geração e distribuição de vapor;
- Aprofundar estudo de aproveitamento de calor dos fornos conversores;
- Estudar coeração de energia elétrica mediante de utilização de vapor;
- Estudar utilização de chillers por absorção para o sistema de climatização da Empresa mediante uso de vapor ou calor residual de fornos.

Refletindo-se sobre as sugestões apontadas para futuros trabalhos e outros que possam surgir, almeja-se que estes possam ser estimulados por uma proliferação de valores ecológicos crescentes na sociedade pela adoção de conceitos de produção mais limpa e que as prováveis limitações de recursos financeiros para os investimentos, mesmo apresentando ganhos econômicos e ambientais, possam ser obtidas até de países desenvolvidos que necessitam reduzir as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa via mercado mundial de créditos de carbono. Instrumento recente que permite aos países desenvolvidos, compromissados com o protocolo de Kyoto, alcançar suas metas de redução de emissão de gases mediante a compra de créditos de carbono que podem ser gerados a partir de projetos industriais associados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) elaborados em países menos desenvolvidos e que estejam embasados na redução de gases do efeito estufa. Outro estímulo positivo que justifica o estudo e implementação das oportunidades é a possibilidade de se utilizar, com ética organizacional, as ferramentas de marketing e difundir o objetivo de tornar o desenvolvimento industrial compatível com o meio ambiente pela relação direta e garantia com a nossa sobrevivência na Terra.

Outro aspecto conclusivo a esta pesquisa revela que a cultura organizacional da Caraíba Metais por produção aliada ao cenário do mercado e custos competitivos tenderam a distanciar a priorização de ações estratégicas da Empresa para melhoria da eficiência energética, especificamente por redução dos combustíveis fósseis cujo resultado econômico e ambiental foi apresentado no estudo de caso desta pesquisa. Certamente este trabalho leva uma parcela de contribuição para a preservação dos recursos naturais, mas entende-se ser indispensável nos níveis da gestão, uma promoção em todos os níveis da Empresa para

produção mais limpa a fim de obter grandes saltos rumo à mudança de atitudes e comportamentos em prol do nosso planeta. Neste sentido, o ano de 2008 na Caraíba Metais promete elencar inúmeras oportunidades, de melhoria de eficiência energética, mediante o desenvolvimento do projeto batizado ENERGIBA. É uma parceria entre Caraíba Metais, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Centro de Recursos Ambientais (CRA) e a Universidade de Campinas (UNICAMP) e visa o aumento da sinergia universidade-empresa, a competitividade industrial, através de processos inovadores e da redução de custos, e a redução do impacto ambiental, através da aplicação dos conceitos de produção limpa e ecologia industrial, além de aumentar a capacitação e conscientização dos empregados. Ou seja, como na tabela 15, se busca caminhos em direção a uma reestruturação dos sistemas industriais em direção à sustentabilidade ambiental tendo como base o respeito aos princípios organizacionais dos ecossistemas naturais.

Tabela 15 – Resumo dos ganhos com esta pesquisa

Resumo dos Ganhos	
Financeiros	
- Secagem de Escória (estudo de caso)	R\$ 980 mil/ano
- Secagem de Lama de Gesso (estudo de caso)	R\$ 840 mil/ano
- Estimativa de outros potenciais	R\$ 1,1 milhão/ano
Ambientais	
- Redução de CO ₂	1.400 t CO ₂
- Novas áreas para reflrestamento	180 mil m ²

REFERÊNCIAS

A CIÊNCIA da mudança no clima: sumário para formulações de políticas e sumário técnico do relatório do grupo de trabalho I. Tradução de Alexandra de Ávila Ribeiro. Brasília: MTC, INPC, PNUD, 2000. 56p.

ABREU, Ari. **Sistemas de refrigeração por absorção intermitente: concepção, dimensionamento, construção, ensaio e considerações econômicas.** 1999. 199 f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

AKADA, Akihiko. Effective energy utilization in Japanese copper smelters. In: TALLER MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA MINERA DE APEC, 1., Santiago, CH, 2004. [Anais...]. Santiago, CH: Universidade de Chile, 2004. Disponível em: <http://www.prien.uchile.cl/seminarios/taller_apec/archivos/papers/02_paper_japan_akihiro_akada.pdf> Acesso em: 7 set. 2006.

ALBUQUERQUE, I. F. M. **Entropia e a quantização de energia: cálculo termodinâmico de Plank.** 1988. 21 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING ENGINEERS. **Refrigerating data book.** 7. ed. New York: ASRE, 1950

ASANTE, N.D.K.; ZHU, X.X. An automated approach for heat exchanger network retrofit featuring minimal topology modifications. **Computers and Chemical Engineering**, v. 20 (Suppl.), p. S7 - S12, 1996.

BAHIA. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Monitoramento ambiental das emissões atmosféricas da chaminé da área de refino.** Camaçari, 2001.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional.** Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia.** Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Procel** : Programa de Controle ao Desperdício de Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.eletrabras.gov.br/elb/portal/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm> > Acesso em : 1 out. 2005.

BRIONES, V.; KOKOSSIS, A. A new approach for the optimal retrofit of heat exchanger networks. **Computers and Chemical Engineering**, v. 20 (Suppl.), p. S43 - S48, 1996.

BROOK HUNT. **Cooper smelter costs**. London, 2005.

CANADA. Government of Canada. **EcoAction** – using less, living better. Disponível em : <<http://www.ecoaction.gc.ca/index-eng.cfm> > Acesso em : 7 set. 2006

CARAIBA METAIS S.A. **Apostila Tecnologias e Processos do cobre Caraíba Metais**. Dias D'Ávila, Janeiro de 2006

CARAIBA METAIS S.A. **Apresentação Comercial Caraíba ao BNDES**. Dias D'Ávila, Setembro de 2005b.

CARAIBA METAIS S.A. **Balço social 2003**. Dias D'Ávila, 2004.

CARAIBA METAIS S.A. **Relatório Caraíba Metais Energéticos – BI**. Dias D'Ávila, 2005a

CARAIBA METAIS S.A. **Relatório de Atividade Industrial**. Dias D'Ávila, 2007.

CIRIC, A.R.; FLOUDAS, C.A. A mixed integer nonlinear programming model for retrofitting heat exchanger networks. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, Washington, D.C., v.29, p. 239 – 251, 1990.

COSTA, Marcio. **Princípios de ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. 2002. 271 f. Tese (Doutorado em Ciências de Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002

COUTRIER, P.L. **Cleaner production in smelting and refining of Copper Ore**. Indonésia, Out. 1997. Disponível em: <<http://www.gemeed.cl/medios/pdf/clanercobre.pdf>> Acesso em: 7 set. 2006.

CRU. **The CRU Benchmarking Series Cooper Smelters**. London, 2000

EFEITO estufa e a convenção sobre mudança do clima. Brasília, DF: MCT ; Rio de Janeiro: BNDES, 1999. 25p.

EFICIÊNCIA energética: integrando uso e reduzindo desperdícios. Brasília: ANEEL; ANP, 1999. 432p.

FRANCE. **Ademe – Agence de l'Environnement et de La Maitrise de l'Energie**. Disponível em <<http://www.ademe.fr>> . Acesso em: 01 out. 2005.

GELLER, H. S. **Efficient electricity use: a development strategy for Brazil**. Washington D.C.: ACEEE, 1991. 164p.

GUNDERSEN T.; NAESS L. The synthesis of cost optimal heat exchanger networks. **Computers and Chemical Engineering**, New York, v. 12, n. 6, p. 503-530, 1988.

JANNUZZI, Gilberto; DANELLA, Marcos Antonio; SILVA, Silvio A Scucuglia. **Metodologia para avaliação dos recursos dos programas de eficiência energética**. Campinas: Energy Discussion Paper, 2004. Disponível em: < <http://www.iei-la.org/documents/E.D.PAPER2.60-01-04.pdf>> Acesso em: 7 set. 2006.

JAPAN. Energy Conservation Center. **ESCO projects in Japan**. Abr., 2006b. Disponível em: < <http://www.eccj.or.jp/esco/project/06/index.html>> Acesso em : 7 set. 2006.

JAPAN. **The Energy Conservation Center, Japan (ECCJ)**. Disponível em: <<http://www.eccj.or.jp>> Acesso em : 7 set. 2006a.

KIPERSTOK, Asher et al. **Inovação e meio ambiente elementos para o desenvolvimento sustentável na Bahia**, Salvador: CRA, 2003. 298p.

KIPERSTOK, Asher et al. **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 290p.

KOTAS, T. J. **The exergy methode of thermal plant analysis**. London: Butterworths, 1985.

LINNHOFF, B. ; HINDMARSH, E. The Pinch design method for heat exchanger networks. **Chemical Engineering Science**, New York, v.38, n.5, p.745 – 763, 1983.

LINNHOFF, B. ; WITHRELL, W.D. Pinch technology guides retrofit. **Oil & gas Journal**, Tulsa, Okla., v.84, n.14, p. 54 – 65, apr., 1986.

LINNHOFF, B. Pinch analysis : a state of the art overview. **Chemical Engineering Research and Design**, Manchester, v. 71, n. 5, p. 503-522, sept., 1993.

LÓPEZ, A. et al. The application of ontologies in the retrofit of chemical processes. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, Iztapalapa, MX, v.3, p. 35-49, 2004. Disponível em: < <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/620/62030104.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2006.

MAIURI, Dalton R.. **A regionalização da geração de energia como desenvolvimento**. 2001. 156 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. EP/FEA/IEE/IF, São Paulo, 2001.

MARECHAL, F.; KALITVENTZEFF, B. Energy integration of industrial sites: tools, methodologies and application. **Applied Thermal Engineering**, Belgium, v.18, n.11, p. 921-933, nov. 1998. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13594311>>. Acesso em: 7 set. 2006.

MELO JR., Príamo Albuquerque. A Engenharia Química do Novo Século. In: _____ (ed.). **Fronteiras da Engenharia Química I**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2005.

METALLURGIE NORANDA HORNE SMELTER. **Value Management, na effective way to reduce energy related costs**. Disponível em: <http://www.valorex.ca/Archives/VM%20an%20effective%20way%20to%20reduce%20energy%20related%20costs.pdf>. > Acesso em: 10 set. 2006.

MIZUTANI, F.T., **Síntese de redes de trocadores de calor com projeto detalhado das unidades via programação matemática**. 2002. 202 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

NOGUEIRA, L. A. H. Energia: conceitos e fundamentos. In: **CONSERVAÇÃO de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. 2. ed. Itajubá, MG: EFEI, 2001. p. 199-230.

PATTERSON, G. M. What is energy efficiency? concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, Oxford, v. 24, n.5, p. 377 – 399, mai., 1996.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor de água**. Sao Paulo: Escola Politécnica /USP, 1966. 288 p.

RAVAGNANI, M.A.S.S. **Projeto e otimização de rede de trocadores de calor**. 1994, Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

SASAZAWA, R.S.; RAVAGNANI, M.A.S.; PESCH, L.R. **Integração energética no processo de papel e celulose**. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 1., 2000, Iguazu, Misiones, AR. Anais... São Paulo: USP, 2000. 7p. Disponível em: <<http://ciadicyp.unam.edu.ar/trabajos/trabajos/varios/Sasazawa-70-Klabin-Br.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2006.

SEVERNS, W. H.. **La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases**. Barcelona : Reverté, 1974.

SILVA, A. **Avaliação energética e exérgica de uma instalação experimental de refrigeração por absorção água-amônia para a produção de gelo a partir de vapor de processo**. 1993 Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

SIMMONS, J. **Os cem maiores cientistas da história: uma classificação dos cientistas mais influentes do passado e do presente**. Tradução de Antonio Canavário. Rio de Janeiro: DIFEL, 2002. 584p.

SMITH, J. M. ; VAN NESS, H. C. **Introduction to chemical engineering thermodynamics**. New York: McGraw-Hill, 1987.

SOUZA NETO, João Nery et al. Aplicação de integração energética para retrofit de uma planta petroquímica existente. **Revista Petro e Química**, São Paulo, v.28, n. 262, p. 87-91, jul., 2004.

STRAPASSON, Alexandre. **Energia térmica e paradoxo da eficiência energética: desafios para um novo modelo de planejamento energético**. 2004. 133 p. Dissertação (Mestrado em energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SZARGUT, J. Exergy analysis of thermal processes: ecological cost advances in energy studies. In: ULGIATI, S. et al. (ed.). **Energy flows in ecology and economy**. Roma : MUSIS Publisher, 1998.

TJOE, T.N.; LINNHOFF, B. Using Pinch Technology for Process Retrofit. **Chemical Engineering**, New York, v. 93, n. 88, p. 47 – 60, abr., 1986.

TORRES, Ednildo. Diagnóstico energético da geração e distribuição de vapor da Caraíba Metais. Salvador: **P & M Equipamentos e Tecnologia**, 1993b.

TORRES, Ednildo. Secagem solar da lama de gesso da Caraíba Metais. Salvador: **P & M Equipamentos e Tecnologia**, 1993a.

UNITED KINGDOM. **Department for Environment Food and Rural Affairs**. <<http://www.defra.gov.uk>> Acesso em : 7 set. 2006.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION OF CLIMATE CHANGE. **The Kyoto protocol to the convention on climate change**. Bonn, GE: Climate Change Secretary, 1997. 34p.

UNITED STATES OF THE AMERICA. Department of Energy. **Energy efficiency and renewable energy**. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov.usa>> Acesso em : 7 set. 2006.

UNITED STATES OF THE AMERICA. Department of Energy. Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy. **Kennecott Utah Copper Retrofits Smelting Applications from Air-Fuel to Oxy-Fuel Burners**. Washington, DC, aug., 2001. Disponível em: <<http://www1.eere.energy.gov/industry/mining/pdfs/kennecott.pdf>> Acesso em: 7 set. 2006.

VALENZUELA, A. et al. **The chilean copper metallurgical industry: an update**. In: THE MINERALS, METALS AND MATERIALS SOCIETY - TMS ANNUAL MEETING, 2003, San Diego, CA. [Anais...] San Diego, CA: TMS, 2003.

WALL, G. Exergy conservation in the Japanese society. **Energy**, Great Britains, v. 15, n.5, p. 435-444. 1990.

WARREN, A. Energy efficiency and conservation. In: HESTER, R. E. ; HARRISON, R. M.. **Environmental impact of power generation**. Cambridge UK: Royal Society of Chemistry, 1999 p. 113-129.(Issues in environmental science and technology, 11).

YANG et al. Using computational fluid dynamics to modify a waste-heat boiler design. **JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society**, Boston, v.51, n.5, p. 36-40, mai., 1999.

APÊNDICE A - Ciclos dos fornos de Refino de 01/07/2006 a 05/07/2006

Ciclo	Data	Prod. Bruta Ton	Etapa	Duração Minutos	Temp Exaustão °C	% Abertura da válvula diluição	Ar Comb. Nm ³ /h	Oxigênio Nm ³ /h	Gas Queimador Nm ³ /h	Ar Processo Nm ³ /h	Gás Processo Nm ³ /h
121.922	1/7/2006	145,96	1	485	84	25	885	41	12	21	132
121.922	1/7/2006	145,96	2	75	250	25	7650	32	519	1007	129
121.922	1/7/2006	145,96	3	95	195	25	948	30	11	38	709
121.922	1/7/2006	145,96	4	155	130	25	4600	29	289	38	157
121.923	1/7/2006	186,08	1	360	110	25	4627	25	310	95	127
121.923	1/7/2006	186,08	2	75	257	25	6327	243	426	998	157
121.923	1/7/2006	186,08	3	95	172	25	1093	31	11	13	640
121.923	1/7/2006	186,08	4	155	144	25	4609	36	293	13	148
121924	1/7/2006	203,69	1	170	100	25	5442	38	348	37	16
121924	1/7/2006	203,69	2	90	144	25	6755	409	364	1013	158
121924	1/7/2006	203,69	3	100	157	25	927	96	11	16	754
121924	1/7/2006	203,69	4	179	166	25	3992	33	352	16	141
221903	1/7/2006	148,65	1	225	112	5	3845	0	251	179	22
221903	1/7/2006	148,65	2	30	110	5	5623	231	354	802	73
221903	1/7/2006	148,65	3	80	167	5	1190	0	13	698	34
221903	1/7/2006	148,65	4	155	108	5	4787	0	18	71	12
221904	1/7/2006	181,68	1	225	61	5	1163	0	13	299	36
221904	1/7/2006	181,68	2	120	165	5	1236	0	13	309	57
221904	1/7/2006	181,68	3	75	250	5	1115	0	13	18	795
221904	1/7/2006	181,68	4	195	113	5	4709	233	304	58	12
121925	2/7/2006	205,62	1	165	156	25	4007	39	367	94	155
121925	2/7/2006	205,62	2	100	120	25	3288	239	327	1050	158
121925	2/7/2006	205,62	3	95	255	25	1053	26	11	25	882
121925	2/7/2006	205,62	4	200	172	25	5530	41	365	30	152
121926	2/7/2006	224,65	1	205	108	25	1670	39	9	108	8
121926	2/7/2006	224,65	2	105	180	25	5958	45	399	931	149
121926	2/7/2006	224,65	3	90	181	25	949	45	11	7	930
121926	2/7/2006	224,65	4	220	150	25	4601	41	306	27	145
221905	2/7/2006	176,41	1	175	146	5	4671	440	294	19	170
221905	2/7/2006	176,41	2	95	149	5	7246	419	281	153	66
221905	2/7/2006	176,41	3	110	123	5	1112	0	13	21	22
221905	2/7/2006	176,41	4	195	59	5	1138	0	26	7	66
221906	2/7/2006	163,95	1	260	94	5	4327	0	277	7	20
221906	2/7/2006	163,95	2	70	133	5	5680	0	368	80	11
221906	2/7/2006	163,95	3	105	167	5	1070	322	11	7	648
221906	2/7/2006	163,95	4	170	98	5	4287	6	277	248	77
221907	2/7/2006	201,66	1	215	62	5	1059	12	16	1224	73
221907	2/7/2006	201,66	2	60	133	5	5697	228	367	1070	69

221907	2/7/2006	201,66	3	115	192	5	119	0	13	22	28
221907	2/7/2006	201,66	4	214	114	5	4801	19	298	113	10
121927	3/7/2006	191,88	1	280	141	25	4590	35	298	188	145
121927	3/7/2006	191,88	2	40	154	25	4643	37	305	938	150
121927	3/7/2006	191,88	3	120	123	10	933	32	11	19	748
121927	3/7/2006	191,88	4	210	141	10	4187	30	263	11	145
121928	3/7/2006	213,89	1	165	125	25	4163	31	264	100	154
121928	3/7/2006	213,89	2	120	124	10	4670	323	293	815	153
121928	3/7/2006	213,89	3	105	173	10	1009	38	11	19	619
121928	3/7/2006	213,89	4	235	156	10	4591	46	305	7	120
121929	3/7/2006	199,81	1	150	145	10	4645	37	306	263	143
121929	3/7/2006	199,81	2	35	72	10	981	36	11	720	132
121929	3/7/2006	199,81	3	60	136	10	4607	35	290	928	150
121929	3/7/2006	199,81	4	179	150	10	993	38	10	33	641
221908	3/7/2006	179,06	1	270	91	5	5655	417	370	651	45
221908	3/7/2006	179,06	2	30	107	5	5679	246	367	1194	46
221908	3/7/2006	179,06	3	90	220	5	1172	0	13	7	856
221908	3/7/2006	179,06	4	205	117	5	4782	0	290	87	78
221909	3/7/2006	140,15	1	325	94	50	4787	10	305	1192	79
221909	3/7/2006	140,15	2	50	116	50	4747	233	312	1072	15
221909	3/7/2006	140,15	3	70	177	10	1069	0	13	13	453
221909	3/7/2006	140,15	4	145	101	50	4789	10	297	158	15
121930	4/7/2006	151,75	1	390	107	50	1035	28	11	993	132
121930	4/7/2006	151,75	2	0	144	50	2297	297	302	929	148
121930	4/7/2006	151,75	3	90	210	50	992	27	18	68	961
121930	4/7/2006	151,75	4	155	158	50	4620	31	291	68	126
121931	4/7/2006	196,56	1	290	95	50	951	36	13	890	139
121931	4/7/2006	196,56	2	75	152	50	5530	354	366	913	139
121931	4/7/2006	196,56	3	60	152	50	5467	364	365	879	142
121931	4/7/2006	196,56	4	200	156	50	8796	34	12	607	144
221910	4/7/2006	159,14	1	245	63	50	1130	0	11	1102	73
221910	4/7/2006	159,14	2	120	96	50	4777	224	308	1042	44
221910	4/7/2006	159,14	3	105	198	50	1153	0	13	13	660
221910	4/7/2006	159,14	4	160	103	50	6113	17	157	11	76
221911	4/7/2006	159,14	1	195	138	50	6608	390	426	416	26
221911	4/7/2006	159,14	2	155	107	50	5822	273	366	914	57
221911	4/7/2006	159,14	3	110	224	50	1100	22	13	21	805
221911	4/7/2006	159,14	4	170	146	50	5616	11	354	670	55
221912	4/7/2006	136,14	1	39	83	50	1116	0	14	398	13
221912	4/7/2006	136,14	2	155	93	50	5535	15	338	1117	15
221912	4/7/2006	136,14	3	110	150	50	5226	6	324	1121	12
221912	4/7/2006	136,14	4	170	166	10	1196	0	13	13	667
121932	5/7/2006	176,73	1	215	109	50	1090	23	9	173	104
121932	5/7/2006	176,73	2	115	154	50	4439	18	292	721	153
121932	5/7/2006	176,73	3	100	157	50	1112	11	10	16	791

121932	5/7/2006	176,73	4	200	245	50	6390	8	424	69	168
121933	5/7/2006	189,23	1	185	132	50	1266	18	9	989	109
121933	5/7/2006	189,23	2	90	223	50	5455	27	357	912	149
121933	5/7/2006	189,23	3	100	154	50	1033	36	11	13	491
121933	5/7/2006	189,23	4	215	75	50	1008	42	128	7	145
121934	5/7/2006	172,21	1	100	93	50	4640	34	309	96	127
121934	5/7/2006	172,21	2	70	233	50	5124	256	323	863	161
121934	5/7/2006	172,21	3	90	233	10	6323	30	429	35	146
121934	5/7/2006	172,21	4	139	152	10	987	32	11	93	139
221913	5/7/2006	200,06	1	440	67	50	1200	513	64	104	64
221913	5/7/2006	200,06	2	110	92	50	7175	500	296	953	66
221913	5/7/2006	200,06	3	70	205	50	1299	0	13	31	984
221913	5/7/2006	200,06	4	205	58	50	1112	0	13	73	10
221914	5/7/2006	180,15	1	120	81	50	5542	0	307	666	76
221914	5/7/2006	180,15	2	95	93	50	4758	0	313	920	67
221914	5/7/2006	180,15	3	80	207	10	1111	17	13	21	711
221914	5/7/2006	180,15	4	180	103	10	4333	0	21	76	11

APÊNDICE B - Siderurgias Brasileiras

Outro rumo de pesquisa para melhoria da eficiência energética é estudar o que as siderurgias brasileiras desenvolvem sobre o tema aproveitamento de gases residuais de seus fornos. Apesar de processos distintos possuem semelhanças que podem ser objeto de pesquisa, conforme exemplos citados neste apêndice.

São registradas em entrevistas junto à ex-funcionários de siderurgias brasileiras e que atualmente fazem parte do quadro de empregados da Caraíba Metais, experiências presenciadas e bem sucedidas no tema do aproveitamento térmico de gases de exaustão de seus fornos. Neste caso não se levantam as estimativas ou potências de ganho pelas diferenças dos processos metalúrgico do cobre e da siderurgia do aço e é citado apenas para reflexão de que oportunidades energéticas podem ser pesquisadas também em siderurgias. Vale lembrar que as siderurgias brasileiras possuem posição de destaque no mercado do aço e são reconhecidas internacionalmente pela produtividade e qualidade de seus produtos e serviços.

a) Gerdau Barão dos Cocais

Nesta siderurgia, localizada em Barão dos Cocais em Divinópolis, Estado de Minas Gerais, média ponderada da carga térmica dos gases a serem aproveitados é de 3.400.039 kcal/kg. foi implementado "copiado" de outra empresa do grupo o projeto de aproveitamento dos gases residuais de um sistema de aquecimento de ar atmosférico introduzido no alto forno. Sistema que utiliza gás natural na combustão do seu processo de troca térmica. Antes da melhoria, os gases oriundos da combustão deste sistema eram exauridos sem nenhum tipo aproveitamento por uma das chaminés da empresa. Atualmente estes gases exauridos na combustão são utilizados para secagem do minério de ferro. Segundo o entrevistado com excelentes ganhos econômicos, energéticos e conseqüentemente ambientais.

b) Manesman

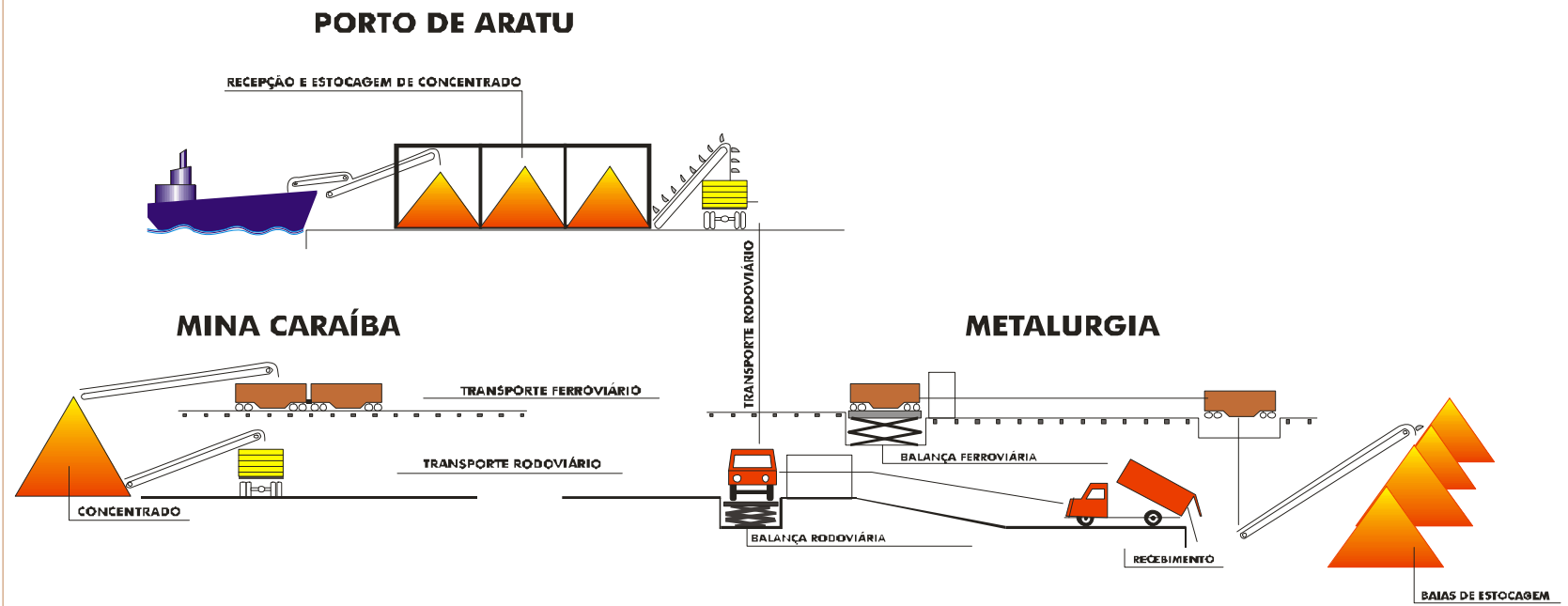
Outro depoimento vem de um técnico de operação que relata que na década de 80, quando trabalhava na Empresa Manesman de Belo Horizonte, os gases quentes exauridos pela chaminé eram aproveitados por um sistema de serpentinas instaladas ao redor da chaminé que por sua vez absorviam o calor dos gases e elevavam a temperatura da água potável no interior dos tubos, abastecendo chuveiros nos vestiários da empresa.

ANEXO - A

Fluxogramas de Processo da Caraíba Metais

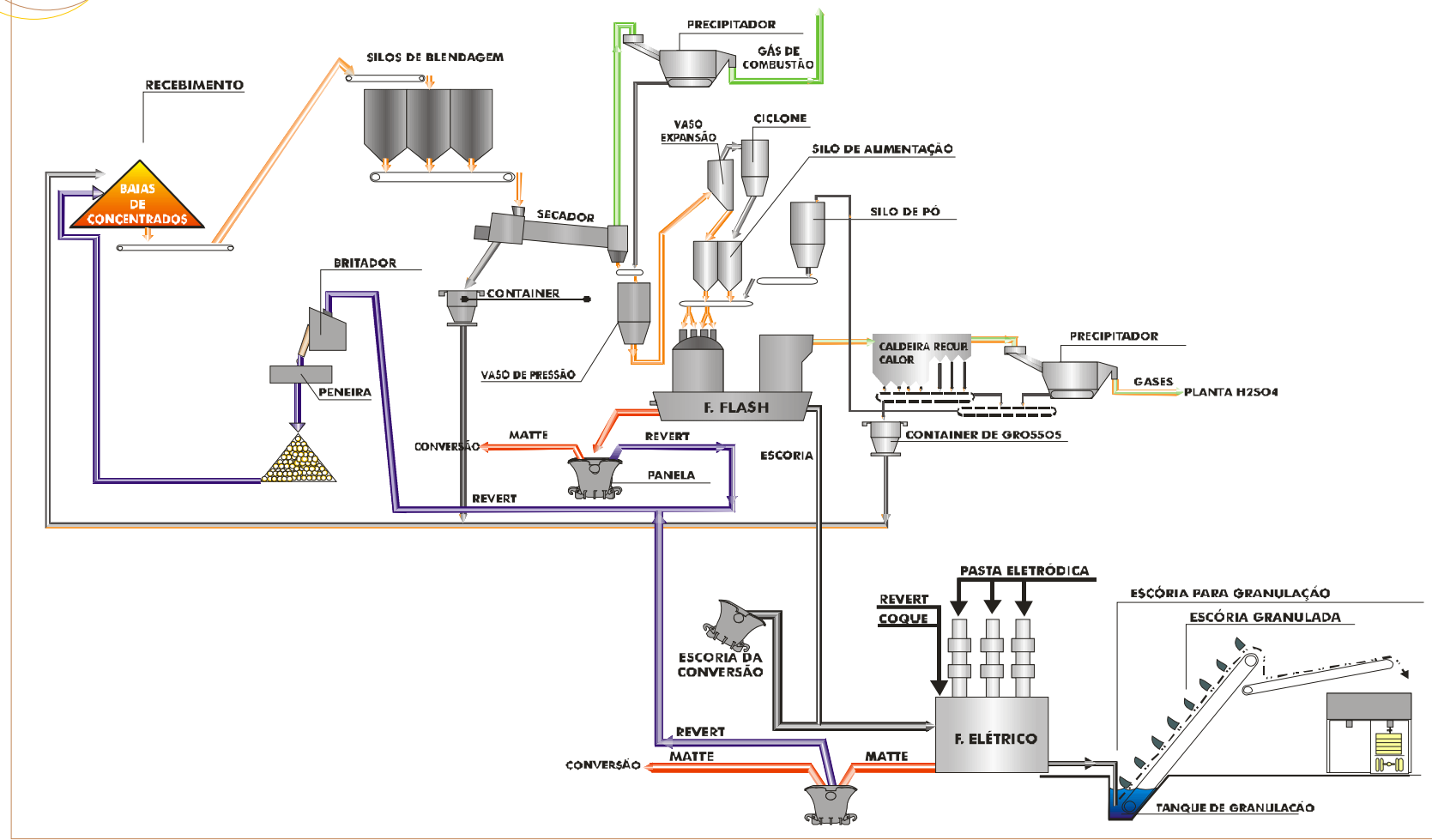


RECEPÇÃO E ESTOCAGEM DE MATÉRIA-PRIMA



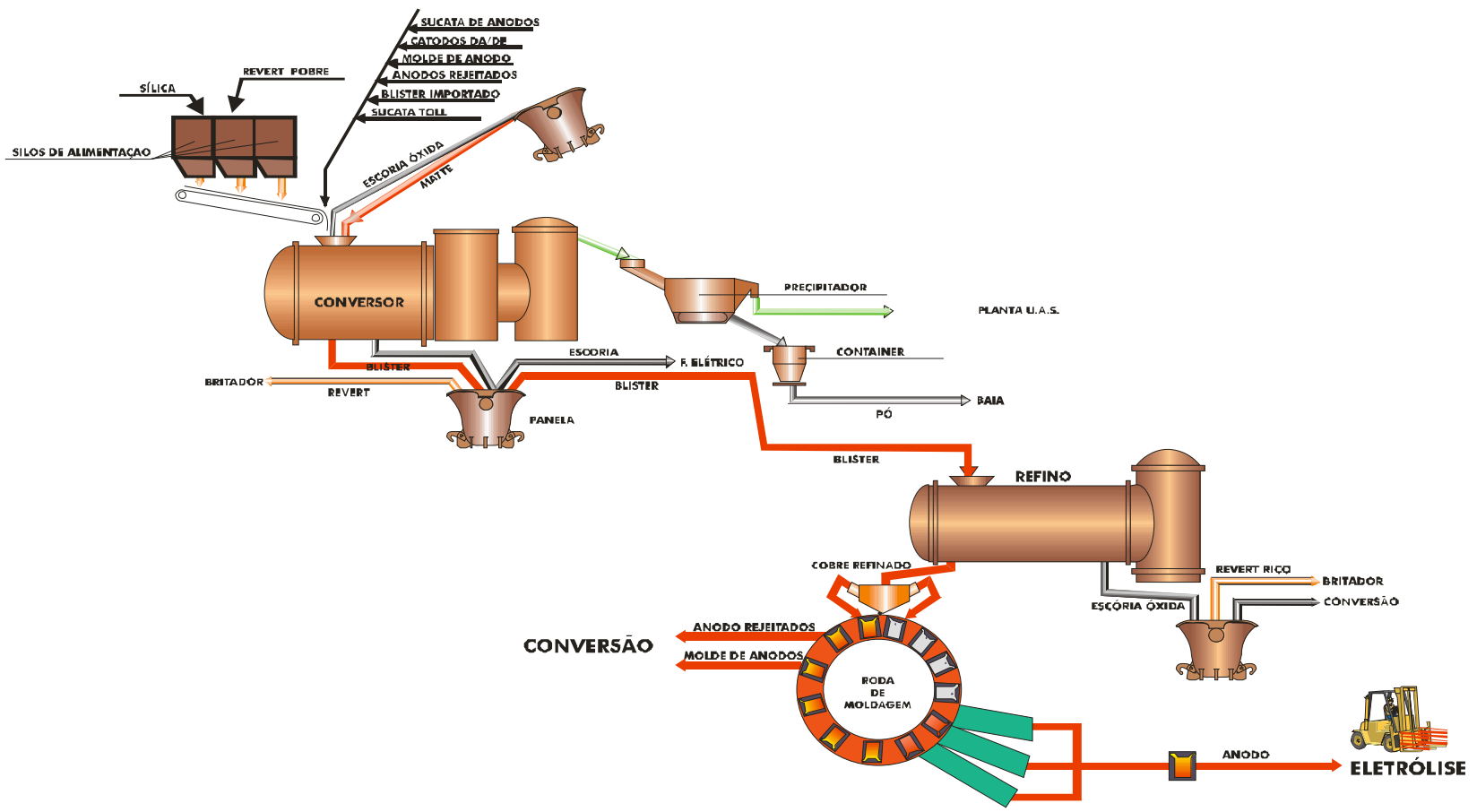


FORNO FLASH



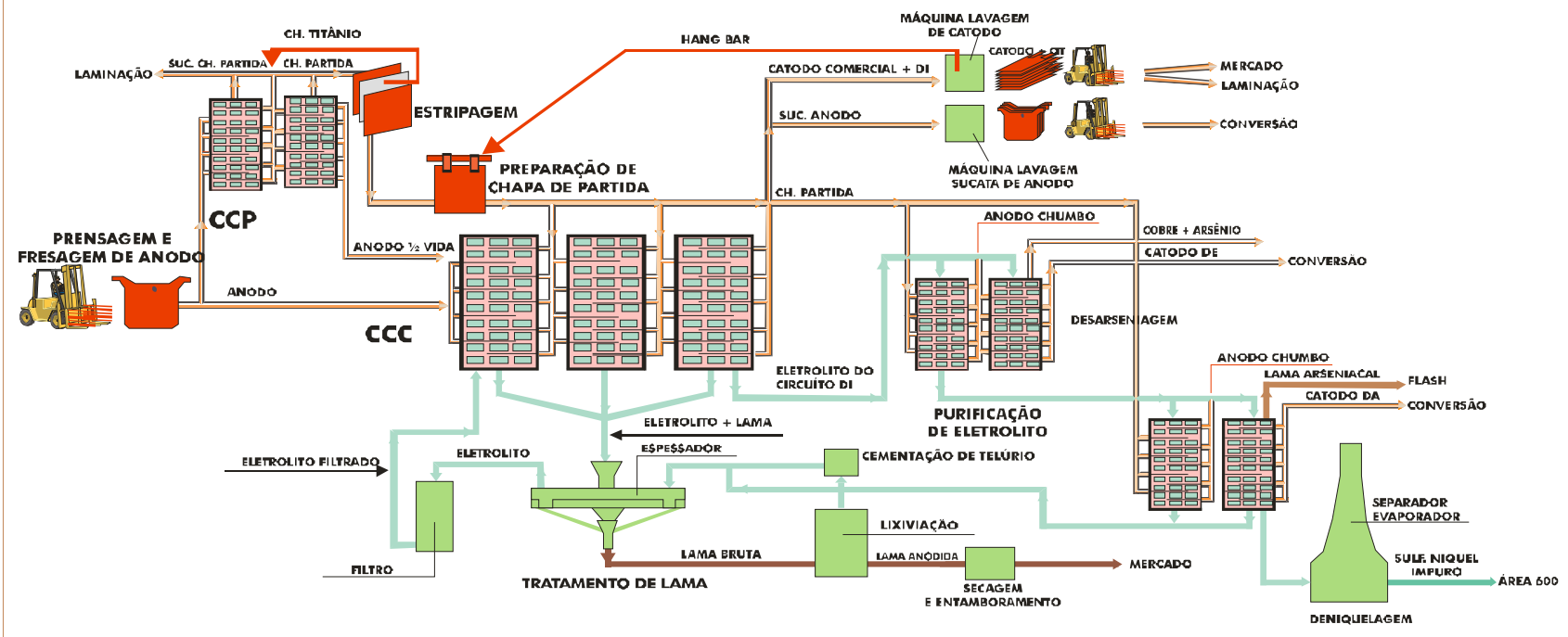


CONVERSÃO, REFINO E MOLDAGEM DE ANODO

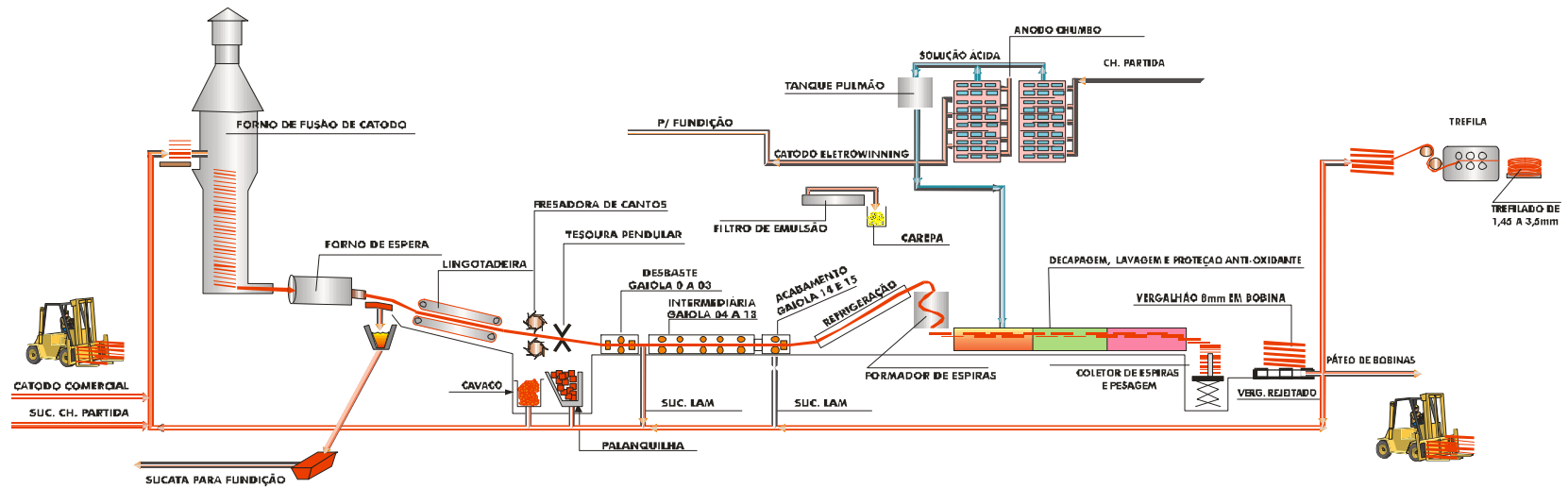




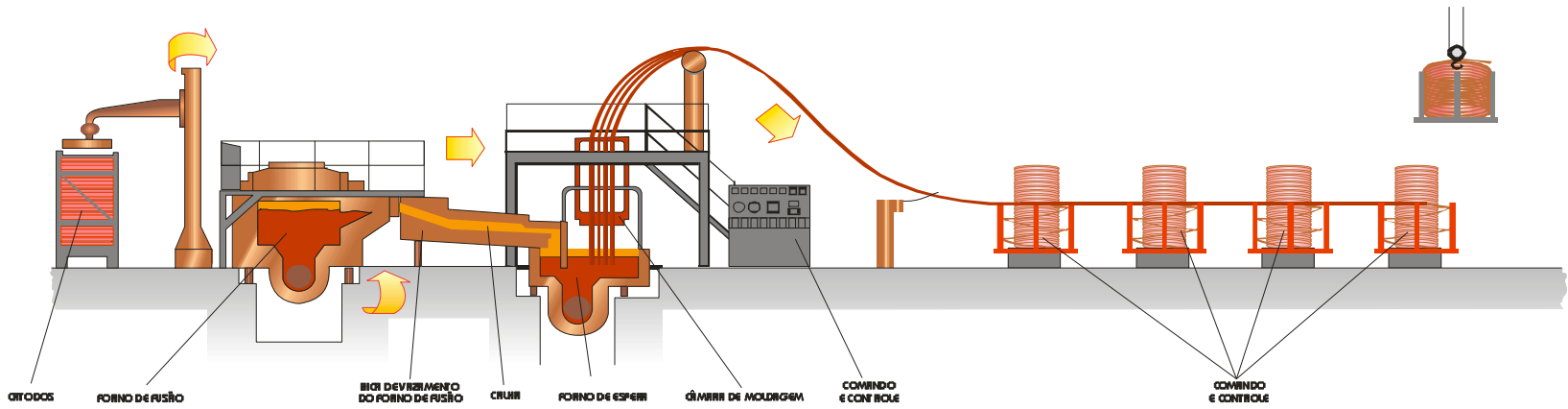
ELETRÓLISE



FUSÃO, LINGOTAMENTO E LAMINAÇÃO CONTÍNUA DE COBRE

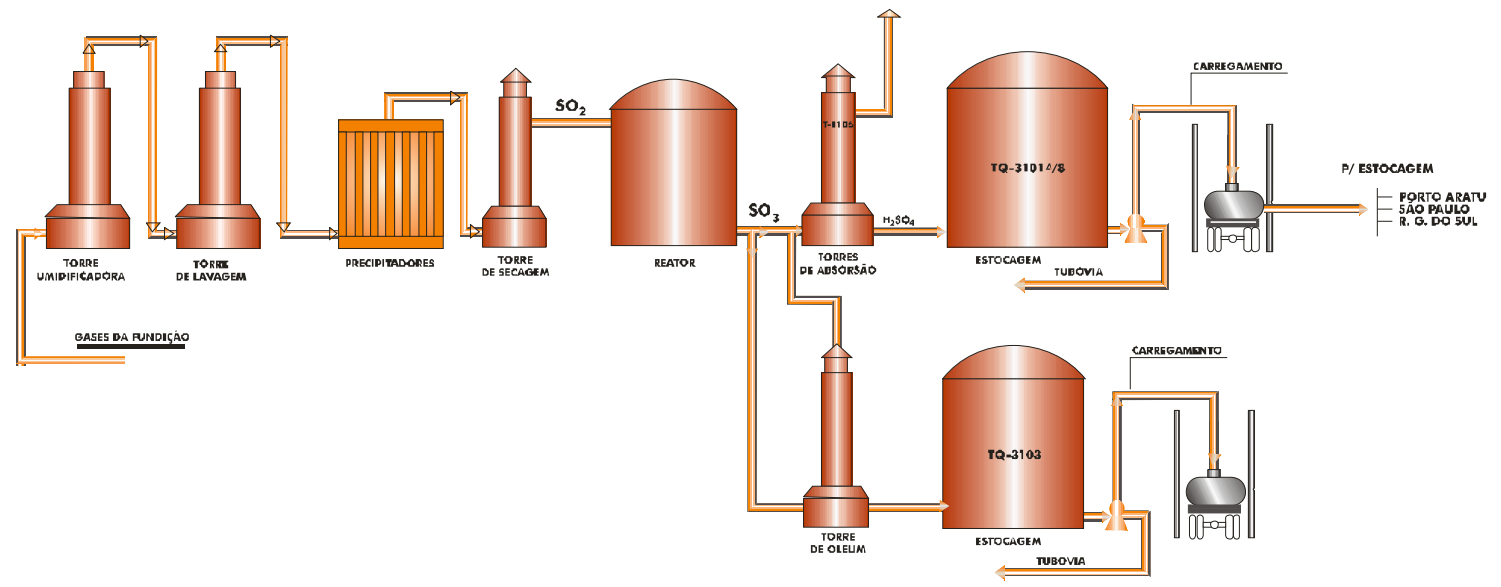


UNIDADE DE VERGALHÕES OXY-FREE



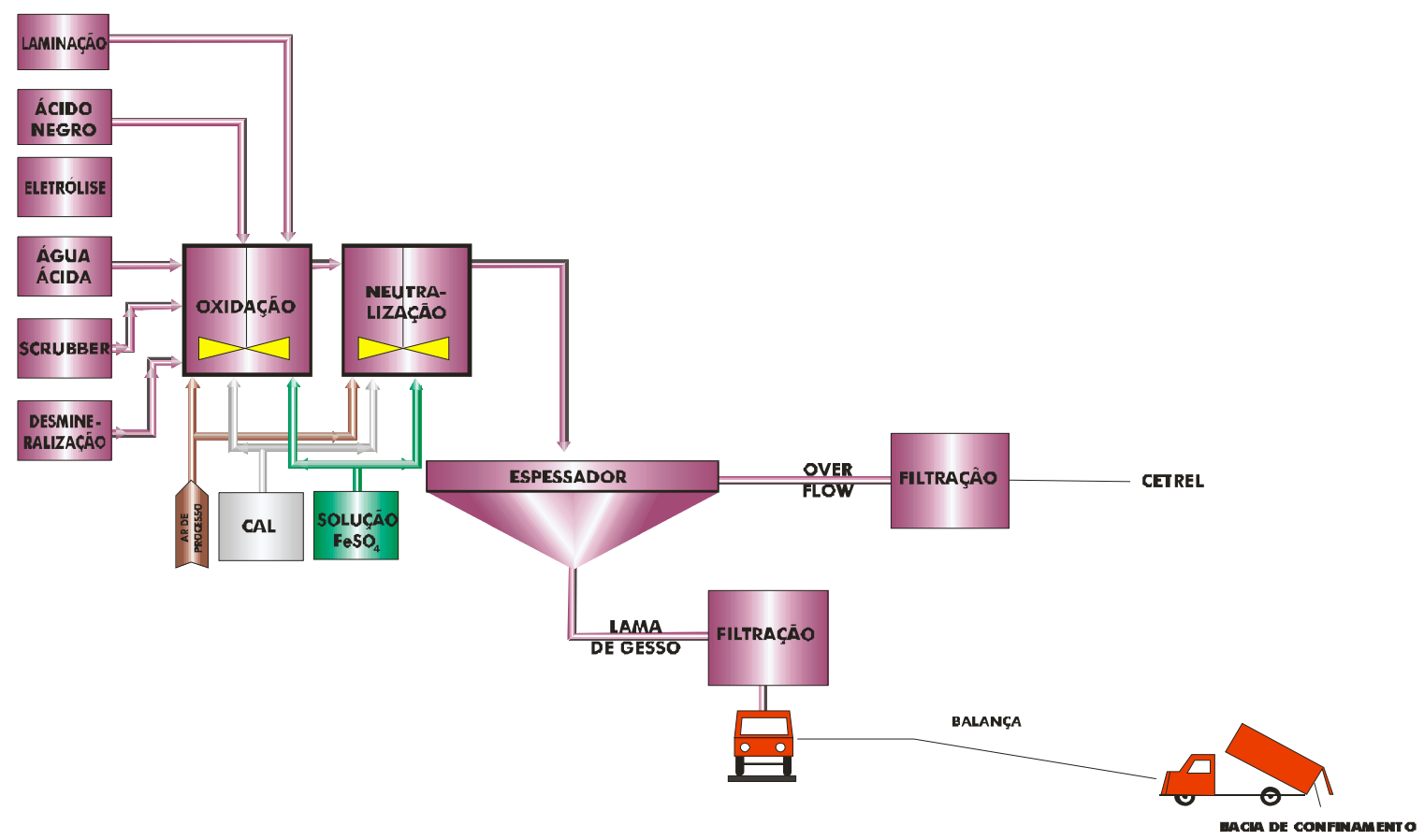


PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO





UTE - UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES -A -743





UFBA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA**

DEPTº DE ENGENHARIA AMBIENTAL - DEA

**MESTRADO PROFISSIONAL EM GERENCIAMENTO E
TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS NO PROCESSO PRODUTIVO**

Rua Aristides Novis, 02, 4º andar, Federação, Salvador BA
CEP: 40.210-630

Tels: (71) 3235-4436 / 3283-9798

Fax: (71) 3283-9892

E-mail: cteclim@ufba.br / steclim@ufba.br

Home page: <http://www.teclim.ufba.br>

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)