

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS**

NÍVEL MESTRADO

FERNANDA BALDASSO FERREIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DAS USINAS *MINI-MILLS* DA GERDAU
S.A. NAS AMÉRICAS:
Um estudo a partir da Análise Envoltória de Dados**

**São Leopoldo
2012**

FERNANDA BALDASSO FERREIRA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DAS USINAS *MINI-MILLS* DA GERDAU

S.A. NAS AMÉRICAS:

Um estudo a partir da Análise Envoltória de Dados

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves

São Leopoldo

2012

Ficha catalográfica

F 383a Ferreira, Fernanda Baldasso

Análise da eficiência relativa das usinas *mini-mills* da Gerdau S.A. nas Américas: um estudo a partir da análise envoltória de dados. / por Fernanda Baldasso Ferreira. – 2012.

101f .

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, 2012.

“Orientação: Prof. Drº Tiago Wickstrom Alves, Ciências Econômicas”.

1. Contabilidade financeira – Análise envoltória de dados. 2. Análise envoltória de dados. 3. Usinas Siderúrgicas *Mini-mills* – Gerdau S.A. 4. Gerdau S.A. – Análise financeira. I. Título.

CDU 658.15

Dedico este trabalho ao Roberto, meu marido e amigo,
meu suporte incondicional em todos os momentos.
E aos meus pais, meus primeiros e maiores incentivadores
no caminho do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu professor e orientador Prof^o Dr. Tiago Wickstrom Alves, que além do suporte constante nos estudos sempre foi um amigo, através dos seus conselhos sempre oportunos. Suas orientações para essa dissertação foram fundamentais.

Agradeço também aos meus pais, que sempre me incentivaram a buscar no estudo o diferencial para o meu futuro.

Ao meu marido Roberto, pela compreensão e apoio nesses dois intensos anos de estudos e dedicação, quase que integral à Gerdau e à Unisinos.

Aos meus professores da linha de Controle de Gestão, Prof^o Dr. Carlos Alberto Diehl e Prof^o Dr. Marcos Antônio de Souza, pelo exemplo de profissionalismo. Obrigada pela dedicação e pelo aprendizado.

Agradeço à Unisinos, pelo suporte financeiro, para que este sonho se tornasse realidade.

Agradeço também aos profissionais da Gerdau, que disponibilizaram parte do seu tempo para me auxiliar no entendimento dos processos. Ao José Vedana, em especial, por ter acreditado que este passo seria importante para a minha carreira, além de ter permitido a realização desta dissertação na empresa.

Enfim, agradeço a todos os meus familiares e amigos que souberam entender os momentos de ausência e que torceram para que esta etapa se encerrasse com sucesso.

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Em decorrência das novas condições de mercado, marcado pelas privatizações, crises e novos entrantes, a indústria siderúrgica têm buscado o aprimoramento da gestão dos seus processos, através da maximização da produção e otimização dos insumos. Neste contexto, essa dissertação tem como objetivo analisar os fatores determinantes da eficiência nas usinas *mini-mills* da Gerdau S.A. localizadas em diferentes países das Américas do Sul e Norte. Trata-se de um estudo descritivo e exploratório, com abordagem quantitativa, realizado com dados dos anos de 2009 e 2010. Foi utilizado o procedimento de estudo de caso, incluindo 24 unidades na análise. Com a utilização da metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA) foi possível mensurar a eficiência técnica e econômica relativa das usinas selecionadas e identificar as unidades *benchmarks*. Os principais achados evidenciam que as usinas brasileiras são as mais eficientes tecnicamente, sendo os fatores relevantes para tais resultados a sua produtividade nos insumos de número de acidentes e tempo de parada dos seus equipamentos. Um grupo de usinas americanas também foi considerado tecnicamente eficiente se destacando na produtividade dos *inputs* de ativo operacional e mão-de-obra. Ao substituir os insumos por seus preços relativos fica evidente a superioridade nos resultados das usinas brasileiras, sendo estas mais produtivas nos três insumos da análise de eficiência econômica: ativo operacional, despesas com mão-de-obra e custo do aço.

Palavras-chave: análise envoltória de dados. eficiência. usinas siderúrgicas *mini-mills*. gerdau.

ABSTRACT

As a result of new market conditions, influenced by privatizations, crises and newcomers, the steel industry has sought the improvement of its management process, through production maximization and input optimization. In this context this dissertation aims to analyze the determining factors for the efficiency of Gerdau's mini-mills, located in different countries of South and North America. This is a descriptive and exploratory study, with quantitative approach, based on data from the years 2009 and 2010. Case study was the procedure adopted, including 24 units of analysis. With the use of the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology it was possible to measure the technical and economic efficiency of the selected mills, as well as to identify the benchmarks. The main findings show that the Brazilian mills are the most technically efficient; the relevant factors behind these results are their productivity in the safety incident input and low equipment downtime. A group of American mills was also considered technically efficient due to high productivity in the operational assets and labor inputs. By replacing the inputs for their relative prices, it becomes evident the superiority of the Brazilian mills in terms of result, which were more productive in the three economic efficiency analysis inputs: operational assets, administrative expenditure and costs of steelmaking.

Key-words: data envelopment analysis. efficiency. mini-mills. gerdau.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos produtivos siderúrgicos	23
Figura 2 – A rota tecnológica das usinas semi-integradas.....	24
Figura 3 – A rota tecnológica das usinas semi-integradas.....	31
Figura 4 – Eficiência e Ineficiência Técnica	41
Figura 5 – Etapas do modelo DEA.....	49
Figura 6 – Comparação entre as fronteiras dos modelos BCC e CCR.....	51
Figura 7 – Etapas para análise da eficiência interna das usinas da Gerdau.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Participação (%) das usinas na produção mundial de aço de 2000 a 2030.....	28
Gráfico 2 – Análise estatística sobre as variáveis.....	64
Gráfico 3 – Distribuição normal dos variáveis.....	66
Gráfico 4 - Análise de Metálicos <i>versus</i> Quantidade de Produção	68
Gráfico 5 - Análise de Ferros-Liga <i>versus</i> Quantidade de Produção	69
Gráfico 6 - Relação entre quantidade produzida de aço e o número de funcionários	72
Gráfico 7 – Relação entre quantidade produzida de aço e o ativo operacional.....	72
Gráfico 8 – Distribuição dos Escores de Eficiência Técnica.....	76
Gráfico 9 – O insumo de número de acidentes nas usinas eficientes	78
Gráfico 10 – O insumo de <i>Power-off</i> nas usinas eficientes	78
Gráfico 11 – Produção por funcionário nas usinas eficientes	79
Gráfico 12 – Produção por ativo operacional nas usinas eficientes	79
Gráfico 13 – Melhorias potenciais das variáveis do modelo de eficiência técnica	82
Gráfico 14 - Relação da produção realizada por funcionário.....	83
Gráfico 15 – Distribuição dos Escores de Eficiência Econômica	85
Gráfico 15 – Melhorias potenciais das variáveis do modelo de eficiência econômica.....	89
Gráfico 16 – Relação entre as despesas administrativas (x) e os índices de eficiência econômica (y)	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produção mundial de aço bruto por Empresa.....	35
Quadro 2 – Estrutura de Operação da Gerdau S.A.....	36
Quadro 3 - Resumo dos estudos de eficiência em siderurgias	43
Quadro 4 - Variáveis de <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> das Usinas da Gerdau.....	60
Quadro 5 – Base para seleção dos insumos.....	62
Quadro 6 – Variáveis selecionadas para definição do modelo DEA.....	71
Quadro 7 – Novas variáveis para cálculo da eficiência econômica	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de aço bruto (10^6 t).....	16
Tabela 2 – Produção de aços brutos por rota tecnológica em 2010	27
Tabela 3 - Indicadores financeiros publicados em 2010 (em milhares de reais).....	35
Tabela 4 – Resultado por Operação de Negócio	38
Tabela 5 – Unidades selecionadas	58
Tabela 6 – Correlação das variáveis utilizadas na mensuração da eficiência técnica	67
Tabela 7 – Correlação das variáveis utilizadas na mensuração da eficiência econômica	70
Tabela 8 – Resultado de eficiência técnica relativa das usinas <i>mini-mills</i>	77
Tabela 9 – Melhoria potencial (%) para as DMUs ineficientes	81
Tabela 10 – Resultado da eficiência com a utilização dos preços relativos	86
Tabela 11 – Melhoria potencial (%) para as DMUs com ineficiência econômica.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS

BCC - Banker, Charnes e Cooper

CCR - Charnes, Cooper e Rhodes

CRS - *Constant Returns to Scale* (Retornos Constantes de Escala)

DEA - *Data Envelopment Analysis* (Análise Envoltória de Dados)

DMU - *Decision-Making Unit* (Unidade Tomadora de Decisão)

FEA - Forno Elétrico a Arco

VRS - *Variable Returns to Scale* (Retornos Variáveis de Escala)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS	19
1.3	DELIMITAÇÃO.....	19
1.4	ESTRUTURA	20
2	A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....	21
2.1	ROTAS TECNOLÓGICAS DAS USINAS SIDERÚRGICAS	21
2.2	AS USINAS <i>MINI-MILLS</i>	26
2.3	PRINCIPAIS INSUMOS E PRODUTOS DAS USINAS SEMI-INTEGRADAS ...	29
3	A EMPRESA GERDAU S.A.....	33
3.1	ESTRUTURA DE OPERAÇÕES DA GERDAU	36
4	EFICIÊNCIA E A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	40
4.1	FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E O CONCEITO DE EFICIÊNCIA.....	40
4.2	EFICIÊNCIA NO SETOR SIDERÚRGICO	43
4.3	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA	47
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	54
5.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	54
5.2	ETAPAS DA PESQUISA	55
5.3	UNIDADES SELECIONADAS E PERÍODO DE ANÁLISE.....	57
5.4	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	59
5.5	PROCEDIMENTO DE COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS	63
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
6.1	ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS SELECIONADAS.....	64
6.1.1	Análise dos dados	64
6.1.2	Análise do coeficiente de correlação.....	67
6.2	ANÁLISE DAS RELAÇÕES DOS INSUMOS E PRODUTOS	71
6.3	AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS	73
6.3.1	O insumo Número de Acidentes	73
6.3.2	Sucata como produto do processo produtivo	74
6.3.3	Resultado operacional como produto negativo	75
6.4	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS USINAS DA GERDAU	76
6.5	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ECONÔMICA DAS USINAS DA GERDAU	84

7	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	92
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

As alterações nas formas de produção, negociação e nos níveis de serviço oferecidos aos clientes, juntamente com a ampliação da concorrência e o acesso a mercados globais, impulsionaram as organizações do setor siderúrgico a buscarem a produtividade como um diferencial competitivo. Associada a essas novas condições de mercado, a volatilidade dos preços das suas principais matérias-primas (como o minério de ferro, o carvão e a sucata) e também dos preços dos seus produtos prontos, impulsionaram as siderúrgicas a focarem na eficiência dos seus processos produtivos, a fim de obter vantagens em custos, redução de tempo de produção e nos serviços prestados (KIM et al., 2007).

Neste contexto está inserida a empresa Gerdau S.A., uma siderúrgica de capital aberto, sediada no Brasil, líder na produção de aços longos nas Américas e que ocupa a 10ª posição no ranking mundial de produtores de aço bruto, além de ser considerada a segunda empresa mais internacionalizada do Brasil (FUNDAÇÃO DOM CABRAL - FDC, 2010).

Logo, compreender os elementos determinantes da eficiência de suas unidades e suas diferenças, bem como ser capaz de identificar aquelas que possuem os melhores desempenhos e que possam servir de referência para as demais, se torna requisito importante para a manutenção e ampliação do seu mercado de atuação enquanto grupo siderúrgico. É este o tema deste estudo, a análise da eficiência das usinas siderúrgicas *mini-mills* (não-integradas) da Gerdau S.A. e a identificação dos fatores que influenciam nos resultados de produtividade.

Essas unidades de produção, foco do estudo, são caracterizadas por produzir aço através da fundição de sucata ferrosa em fornos elétricos a arco, com a adição de ferro gusa, e representam a maior parte da capacidade produtiva da Gerdau. São caracterizadas por instalações físicas menores que as usinas integradas, além de serem consideradas mais flexíveis, pela não concentração de capital em uma única unidade de produção. Ainda representam relevante fator estratégico para a organização, devido à facilidade de construção próxima dos mercados locais e por possibilitarem maior facilidade para ajustes aos níveis de produção necessários.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A maior facilidade de acesso ao mercado global, marca da atual fase de expansão mundial, reflete um conjunto de transformações de ordem política e econômica das nações e mudanças nas condições de produção. Como consequência da evolução deste cenário, as empresas têm enfrentado diversas situações que se apresentam tanto como oportunidades quanto como ameaças (ALMEIDA; MARIANO; REBELATTO, 2006).

A fim de aproveitar essas mudanças como oportunidades de crescimento, as organizações buscam melhores resultados através da evolução nas formas de administração das suas operações. O processo de gestão reforça o foco na eficiência, buscando a maximização da produção e a otimização dos recursos empregados (FAUTH, 2010).

Assim, o interesse na eficiência, desde as indústrias de ponta até as mais tradicionais, se ampliou de forma significativa. Para Kim et al. (2007), as indústrias do setor siderúrgico acompanharam esta tendência impulsionadas pelos efeitos da competição global e das privatizações, além do crescimento do consumo associado aos países em desenvolvimento. Além disso, por estarem sensíveis às variações de preços dos seus produtos finais e também dos custos das suas principais matérias-primas, estas empresas buscaram na eficiência de seus processos uma forma de alcançar e manter suas vantagens competitivas nos mercados internacionais.

A atividade siderúrgica é tipicamente relacionada ao desenvolvimento econômico de um país, o que deriva da sua importância para a construção de infra-estrutura e produção de equipamentos para outros setores da economia. Atualmente, os maiores índices de crescimento do consumo e produção estão nos países emergentes, nomeadamente Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS). Observa-se, também, que esses demonstram maior capacidade em enfrentar crises econômicas que países desenvolvidos, como exemplo pode-se citar a crise financeira de 2008 que atingiu, principalmente, os Estados Unidos e a Europa Ocidental (CHOWANIEC et al., 2010).

De acordo com o Instituto do Aço Brasil - IAB (2010a), a produção mundial de aço bruto alcançou 1.413 milhões de toneladas em 2010, liderada pela China, a qual representa 44% da produção total. Os países que representam as 10 primeiras posições em produção de aço bruto são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção de mundial de aço bruto (10⁶t)

Posição	País	2010	%
1º	China	626,7	44
2º	Japão	109,6	8
3º	EUA	80,5	6
4º	Índia	68,3	5
5º	Rússia	66,9	5
6º	Coréia do Sul	58,4	4
7º	Rep. Fed. Alemanha	43,8	3
8º	Ucrânia	33,4	2
9º	Brasil	32,9	2
10º	Turquia	29,1	2
11º	Outros	263,9	19
Total da produção mundial		1.413,5	100%

Fonte: IAB (2010b)

Historicamente, a indústria do aço tem se mostrado altamente cíclica e muito afetada pelas condições econômicas em geral, tais como a capacidade de produção mundial e as flutuações nas importações/exportações de aço e respectivas tarifas aduaneiras. Depois de um período contínuo de crescimento entre 2004 e 2008, a queda acentuada na demanda resultante da crise econômica global de 2008-2009 mais uma vez demonstrou a vulnerabilidade do mercado de aço à volatilidade dos preços internacionais das *commodities* (sucata, minério de ferro, carvão). O mercado de aço começou uma recuperação gradual no segundo semestre de 2009, em sincronia com a atividade econômica global, mesmo que em diferentes níveis ao redor do mundo.

Para Chowanec et al. (2010), a crise econômica mundial de 2008 exigiu muito mais das organizações no que se refere ao conhecimento da eficiência e ineficiência das suas unidades e ao controle dos seus processos. Associados à crise, ainda outros fatores impulsionaram a ampliação do foco na produtividade como fator de sobrevivência dessas empresas, conforme Kim et al. (2007), tais como:

- novos entrantes: anteriormente dificultados pelo alto investimento de capital inicial, atualmente é incentivado pelo crescimento dos países em desenvolvimento. A demanda gerada faz desses países um foco para a implantação de novas usinas de grandes grupos siderúrgicos, em especial os que compõem o BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China). Os novos entrantes forçaram as siderúrgicas que atuavam apenas no mercado interno a melhorarem seus processos internos, buscando redução de custos com foco na manutenção das margens;

- excesso de capacidade instalada: atualmente as empresas siderúrgicas, de maneira geral no cenário mundial, apresentam utilização parcial da sua capacidade produtiva de aço bruto. Esse excesso, aliado ao crescimento lento do consumo, mantém os preços de venda e as margens baixas;
- custos das matérias-primas: desde a crise de 2008, os custos das principais matérias-primas (sucata, ferro gusa e energia) para usinas *mini-mills* não reduziram expressivamente se comparados com a queda dos preços de venda. Esse foi um dos principais fatores causadores da verticalização de processos nas indústrias siderúrgicas, incorporando processos como a mineração e carboníferas, aumentando ainda mais as suas estruturas fixas e enfatizando a busca pela eficiência dos seus processos como redução de custos.

No Brasil ainda existem outros fatores que impactam na competitividade das empresas siderúrgicas, dos quais se pode citar a redução das margens de lucro, em função do câmbio valorizado, a persistência de elevados excedentes de oferta no mercado internacional e a existência de incentivos estaduais à importação de aço (IAB, 2010b).

Esses fatores têm levado diversos pesquisadores a avaliar os elementos relacionados à eficiência dessas empresas. Como exemplo, citam-se os estudos de Faria (2006), Macedo, Santos e Silva (2004), Mariano (2010), Perentelli (2007) e Ramos (2007), os quais analisaram a eficiência comparando organizações brasileiras através de indicadores econômico-financeiros. Outros pesquisadores analisaram a eficiência de diferentes empresas siderúrgicas de um mesmo país ou entre países, como Kim, J. et al. (2006), Mahadevan (2002), Ray e Kim, H. (1995), Ray, Seiford e Zhu (1998) e Wei, Liao e Fan (2007) entre outros. E por sua vez, o estudo de Braglia, Zanoni e Zavanella (2003) avaliou a eficiência de usinas de uma mesma empresa utilizando-se de informações referente aos fatores de produção (dados técnicos) para a realização da pesquisa.

A análise interna, através da comparação entre usinas, permite ampliar a capacidade de planejamento e ação da gestão, no sentido de permitir maior eficiência no uso dos insumos e eficácia na obtenção de objetivos estabelecidos. Como consequência, não só a ampliação da participação no mercado, mas, também, a capacidade de avaliar a produtividade dos fatores nos diferentes mercados, regiões ou países de atuação e agir para a busca das melhores práticas.

Entretanto, a comparação da eficiência em sistemas de produção é uma tarefa complexa, pois exige análises com múltiplas variáveis, diversidade de critérios e o

estabelecimento de parâmetros comparáveis. Além disso, empresas com um número considerável de usinas, muitas vezes distantes geograficamente, em países com ambientes econômico, tecnológico e cultural distintos, resultam em diferentes níveis de produtividade dos fatores, mesmo que estas unidades sejam gerenciadas pela mesma empresa (BRAGLIA; ZANONI; ZAVANELLA, 2003).

Em relação às dificuldades observadas por estes autores, é possível contorná-las com a seleção de unidades semelhantes em termos de processos produtivos e produtos gerados, a fim de tornar a comparação adequada. Além disso, a seleção dos parâmetros relevantes para os processos, independente da unidade, possibilita a comparabilidade e seleção de *benchmarks*. É evidente que fatores como a cultura de cada região/país e situação econômica do mercado de atuação influenciarão nos resultados, mas esses podem servir de base para a explicação sobre os diferentes níveis de eficiência encontrados.

Diante do exposto, tem-se então a questão que orienta esta pesquisa, que é: quais os fatores de produção determinantes para a eficiência das usinas *mini-mills* da Gerdau S.A. localizadas nos países da América do Sul e da América do Norte?

A resposta desta questão é relevante tanto pela sua contribuição teórica quanto empírica. Teórica, no que se refere à contribuição que advém da utilização do modelo de Análise Envoltória de Dados como procedimento de medição de eficiência em diversas unidades de uma mesma empresa, as quais são localizadas em diferentes países. Além disso, cita-se a contribuição advinda da análise de eficiência no setor siderúrgico, pouco explorado nos estudos acadêmicos sobre o assunto, e a relevância de uma investigação focada em dados de produção e não apenas em dados financeiros publicados.

A contribuição empírica se concretiza nos resultados que poderão ser apropriados pela Gerdau S.A. como uma nova forma de análise sobre a eficiência de suas usinas. Além de auxiliar na busca por melhores resultados e por meio da identificação de melhores práticas.

Aliada à relevância do estudo para a empresa Gerdau, os resultados da análise de produtividade através do modelo de Análise Envoltória de Dados surge como uma nova forma de medição de desempenho, podendo suportar o processo decisório não só de empresas siderúrgicas, mas também de outros setores. Sendo a Gerdau uma empresa internacionalizada, com unidades siderúrgicas e comerciais espalhadas por diferentes países e com uma posição importante no mercado mundial de produção de aço, o caso estudado se torna um exemplo relevante perante as demais organizações.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é: analisar os fatores determinantes da eficiência das usinas *mini-mills* da Gerdau S.A. localizadas em diferentes países da América do Sul e América do Norte.

Os objetivos específicos são:

- a) prospectar os insumos e produtos relevantes da função de produção das usinas *mini-mills* da Gerdau;
- b) determinar se a função de produção das usinas apresenta rendimentos constantes ou decrescentes;
- c) identificar os resultados de eficiência técnica através da Análise Envoltória de Dados (DEA);
- d) definir as usinas *benchmarks*;
- e) estabelecer os fatores internos determinantes dos níveis de eficiência;
- f) identificar os resultados de eficiência econômica aos substituir os fatores de produção pelos seus preços relativos.

1.3 DELIMITAÇÃO

Alguns pontos devem ser destacados como delimitação da pesquisa realizada. A primeira questão refere-se ao fator temporal. O estudo não contém uma análise da eficiência das unidades selecionadas ao longo do tempo, mas sim de apenas dois períodos consecutivos, os anos de 2009 e 2010. Dessa forma, não é possível, através dos dados apresentados, concluir sobre os fatores que levaram cada unidade ao grau de eficiência em que se encontram, assim como não seria factível prever como se comportarão no futuro. O objetivo do estudo é verificar as diferenças de eficiência e as melhores práticas em um dado momento.

A segunda questão refere-se à mensuração da eficiência relativa. O modelo da Análise Envoltória de Dados permite a identificação dos índices de eficiência relativa, o que torna os resultados válidos somente enquanto as análises se mantiverem com as mesmas unidades. Assim, os resultados obtidos estão circunscritos à Gerdau, às usinas *mini-mills* que compõem a seleção de DMUs, aos países onde elas se localizam e às variáveis utilizadas.

E por fim, a mensuração da eficiência neste estudo não contempla a tecnologia como um insumo no processo produtivo. Esse fator será utilizado como possível explicação para os diferentes escores identificados na análise dos resultados.

1.4 ESTRUTURA

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, iniciando pela introdução, descrita no primeiro capítulo, com o objetivo de contextualizar o tema de pesquisa e apresentar o objetivo, relevância, delimitação e estrutura. O segundo capítulo aborda um panorama sobre a indústria siderúrgica no Brasil e no mundo, o processo produtivo do aço e suas rotas tecnológicas, além das usinas *mini-mills* e seus principais insumos e produtos. No terceiro capítulo segue a caracterização do Grupo Gerdau, a fim de qualificar o entendimento dessa organização.

No quarto capítulo, trata-se do conceito de eficiência e sua medição, além da análise dos estudos que tratam do tema de eficiência no segmento siderúrgico. Após, descreve-se as formas de mensuração de desempenho, entre as quais a metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA), adotada nessa dissertação como base para análise de avaliação de eficiência das usinas da Gerdau.

Os procedimentos metodológicos são descritos no quinto capítulo, incluindo a classificação da pesquisa, etapas, descrição da amostra e critérios para sua seleção, descrição das variáveis utilizadas, formulação dos modelos e os procedimentos para coleta e tratamento dos dados. O sexto capítulo é composto pela análise das variáveis selecionadas, das relações dos *inputs* e *outputs* e dos resultados obtidos através da mensuração da eficiência técnica e econômica.

Por fim, apresentam-se as conclusões, as recomendações e contribuições para trabalhos futuros.

2 A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

A siderurgia é uma atividade tipicamente relacionada ao desenvolvimento econômico de um país, devido ao seu importante papel como fornecedora de insumos para a indústria automobilística, construção civil, manufatura de bens de capital, materiais de transporte e bens de consumo duráveis.

Este setor é formado por grandes empresas, em geral verticalizadas, que operam as diversas fases do processo produtivo, desde a transformação do minério em ferro-gusa até a produção dos mais variados tipos de aço. Por ser intensiva em capital, tem como característica investimentos em ativos destinados a projetos de longo prazo de maturação, que implicam em elevado aporte de recursos (FONSECA; ALECRIM; SILVA, 2007).

A siderurgia é um dos segmentos mais energointensivos da indústria e o consumo específico de energia pode ser afetado por vários fatores, entre os quais se destacam: a rota tecnológica, o tipo e a qualidade das matérias-primas utilizadas e o mix de produtos. Outros insumos igualmente importantes, como o minério de ferro e a sucata ferrosa, utilizados na produção siderúrgica também variam em função da rota de produção utilizada (MENDO, 2009).

Nas seções que seguem, são descritas as principais características do processo produtivo siderúrgico, as usinas *mini-mills* e os principais insumos e produtos desta indústria.

2.1 ROTAS TECNOLÓGICAS DAS USINAS SIDERÚRGICAS

As rotas tecnológicas para a produção do aço evoluíram muito ao longo do século XX, principalmente no pós-guerra, com foco no aumento da produtividade, no retorno dos investimentos e na busca pela eficiência energética. Outra tendência da siderurgia mundial tem sido a de procurar reciclar volumes crescentes de sucata ferrosa, que é reutilizada como matéria-prima para a produção do aço (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE, 2009).

Embora a indústria do pós-guerra já apresentasse índices de produtividade em crescimento, muitos dos processos produtivos utilizados ainda não eram eficientes na utilização de seus principais insumos como, por exemplo, a energia. De fato, ganhos mais significativos de eficiência na indústria passaram a ocorrer principalmente na segunda metade do século XX e, mais intensamente, a partir das últimas décadas, quando as preocupações com a questão de sustentabilidade e a elevação dos preços destes insumos passaram a ganhar

importância crescente nas discussões técnicas setoriais, nos questionamentos dos investidores e na opinião pública em geral (CGEE, 2009).

Segundo Brasil (2009), o processo de produção de aço, nas usinas siderúrgicas, segue basicamente duas rotas tecnológicas, sendo elas:

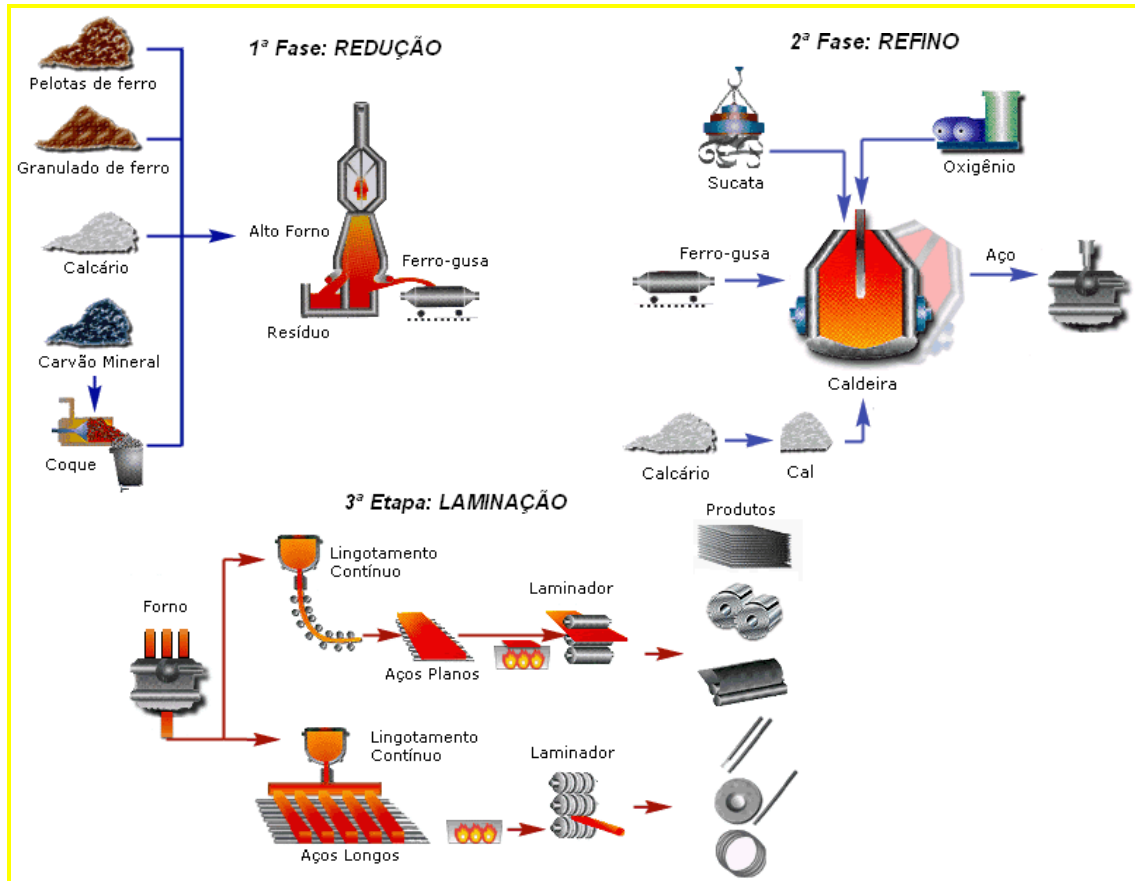
- usinas Integradas: utilizam, para a redução do minério de ferro, os altos-fornos, os quais são alimentados com o coque obtido a partir do carvão mineral nas coquearias, resultando no ferro-gusa que é transformado em aço líquido na aciaria, constituída de um forno a oxigênio;
- usinas Semi-integradas: usinas que operam as fases de refino e laminação. O aço é obtido a partir da fusão de metálicos (sucata, gusa e/ou ferro esponja) e refinado em forno elétrico. Também são chamadas de *mini-mills*, devido ao seu tamanho, normalmente menores que as usinas integradas por não possuírem o processo de redução.

No caso da rota integrada, o processo de fabricação de aço compõe-se de quatro etapas básicas: preparação da matéria-prima, produção do ferro-gusa, produção do aço e a transformação do aço bruto (tarugos, blocos e placas). Na etapa inicial da fabricação do ferro, são produzidos o sinter, uma mistura de minério de ferro e calcário, o coque e outras matérias primas, as quais são consumidas no alto-forno para a produção do ferro-gusa. Este é produzido e transportado para os fornos conversores de oxigênio tipo LD, onde será transformado em aço. O processo LD de fabricação de aço utiliza ferro-gusa líquido para produzir aço soprando oxigênio sobre a carga metálica dentro dos conversores, não exigindo nenhuma fonte externa de energia, a qual é inteiramente suprida pelas reações químicas que ocorrem entre o oxigênio e as impurezas do ferro-gusa líquido. O processo LD de fabricação de aço é atualmente o mais usado no mundo (MEMOLI; FERRI; FREITAS, 2009).

Já as usinas semi-integradas possuem um processo mais simplificado, por não haver a preparação da matéria-prima, como o sinter e o coque. São equipadas principalmente com fornos elétricos a arco que fundem sucata de aço e ferro-gusa, e produzem tipos de aço conforme as especificações fornecidas pelos clientes. Após carregar o forno com uma mistura pré-ajustada de matéria-prima (sucata de aço, ferro-gusa e/ou ferro esponja), aplica-se energia elétrica de acordo com um perfil de fundição controlado por sistemas computadorizados (GERDAU, 2010a).

Na Figura 1, são ilustradas as três fases do processo produtivo de uma aciaria. A primeira fase de redução está presente nas usinas integradas, enquanto as usinas semi-integradas iniciam seus processos a partir da fase de refino.

Figura 1 – Processos produtivos siderúrgicos



Fonte: Brasil (2009)

Nas usinas semi-integradas, a primeira etapa de fabricação do aço é igual para todos os produtos, através da inclusão de sucata e ferro-gusa nos fornos. Na fase seguinte, quando os elementos de liga são adicionados ou suprimidos, é que são determinadas as grandes famílias de aço, dos mais rígidos aos mais estampáveis. O carbono é o principal elemento que aumenta a dureza do aço. Outros elementos, como o manganês, o silício e o fósforo, participam igualmente do ajuste das suas propriedades mecânicas. Segundo a CGEE (2010), a quantidade de carbono na composição do aço define sua classificação, sendo elas:

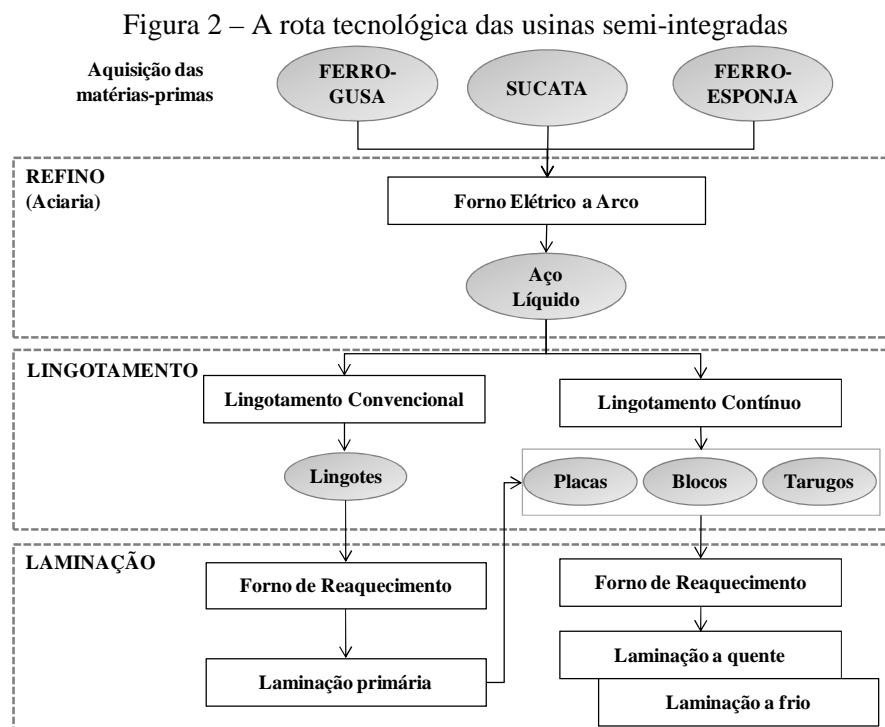
- **baixo carbono:** possui no máximo 0,30% do elemento e são aços que possuem grande ductilidade, bons para o trabalho mecânico e soldagem (construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões em geral);

- médio carbono: apresenta de 0,30 a 0,60% de carbono e possui características medianas entre os materiais maleáveis e os mais resistentes. Os perfis são bons exemplos de produtos de aço médio carbono;
- alto carbono: possui de 0,60 a 1% e é utilizado para materiais de alta resistência. Produtos como arames especiais e cabos são exemplos de produtos feitos com este tipo de aço.

A produção dos diferentes tipos de aço quanto às suas classificações interfere na quantidade de matéria-prima utilizada na produção, neste caso os Ferros-Liga, que conferem ao aço as características específicas de cada produto a que ele se destina. Outra classificação existente para os tipos de aço quanto à sua composição química são os aços ligados, os quais não serão detalhados uma vez que não são produzidos pelas usinas semi-integradas da Gerdau envolvidas na análise realizada neste estudo.

A fase seguinte é o lingotamento, onde o aço passa por um processo de solidificação, transformando em tarugos e/ou lingotes. A seguir no processo de Laminação, os tarugos e/ou lingotes são conformados mecanicamente para atender as necessidades de suas aplicações. Os laminadores, no que se refere a condições operacionais, podem funcionar a quente ou a frio e, quanto à forma dos produtos fabricados, podem ser classificados em planos ou longos.

A Figura 2 ilustra os principais processos que compõem uma usina semi-integrada.



Fonte: Brasil (2009)

Em geral, o processo de produção em usinas *mini-mills*, foco deste estudo, consiste das seguintes etapas: obtenção de matérias primas (sucata e ferro-gusa), fundição (em forno elétrico), lingotamento e laminação. No entanto, apesar da similaridade no processo produtivo, alguns equipamentos podem ser agregados à estrutura destas com o objetivo de melhorar a eficiência das aciarias. Nas usinas semi-integradas destacam-se os trituradores de sucatas e os fornos Consteel, como equipamentos complementares às estruturas de produção de aço (BRASIL, 2009).

O triturador de sucatas Shredder é composto por um moinho triturador, esteiras transportadoras, sistemas de despoeiramento e de separação de materiais não-ferrosos. Tem como finalidade fragmentar, adensar e limpar a sucata que será utilizada no processo de produção. O adensamento traz, principalmente, ganhos na produtividade, uma vez que um volume maior de sucata pode ser carregado até os fornos através dos cestões, reduzindo, como consequência, o tempo da corrida do aço (tempo gasto entre a primeira inclusão de matéria-prima no forno até a saída do aço bruto). Já a sua atuação na limpeza da sucata traz economia de energia e redução na geração de escória, um dos resíduos do processo siderúrgico (MENDO, 2009).

Os fornos Consteel também influenciam positivamente no tempo de operação das aciarias e na redução de insumos. Consistem em equipamentos que divergem dos fornos convencionais principalmente pela logística no método de carregamento, uma vez que agiliza o fluxo de sucata do pátio até o forno elétrico. Esse processo gera economia de energia, minimiza distúrbios na rede elétrica, reduz ruídos e emissões de gases e poluentes. Adicionalmente, influencia diretamente o indicador de *Power-off*, mensurado mundialmente e objeto de estudos de *benchmarks* entre usinas. Essa medida oferece ao gestor a verificação do tempo médio de parada dos fornos por cada corrida de aço (CGEE, 2010).

Como benefício da utilização deste equipamento cita-se o aumento diferencial de produtividade do Forno Elétrico a Arco (FEA), devido ao carregamento contínuo de sucata e ferro-gusa, sem a necessidade de desligamento do forno. Nos fornos convencionais, cada corrida de aço consiste de diversos carregamentos de matérias-primas e a cada inclusão no forno é necessário o seu desligamento. Além disso, ocorre uma economia na energia em torno de 15%, uma vez que há uma inércia térmica provocada pela constante temperatura do forno (MEMOLI; FERRI; FREITAS, 2009).

A modernidade dos equipamentos e a constante busca pela melhoria tecnológica nos processos produtivos indicam uma importante fonte de crescimento da eficiência e qualidade de produção. Estudos comparativos em empresas siderúrgicas demonstram essa realidade e

concluem sobre a eficiência superior em processos melhores equipados, como por exemplo, as pesquisas de Kim, J. et al. (2006) e Mahadevan (2002). Outros estudos sobre o setor, como o de CGEE (2010) e IAB (2009), indicam os equipamentos e as tecnologias aplicadas nas usinas como fonte de melhoria de processo, redução de custos, adequação às exigências ambientais e diferencial competitivo.

2.2 AS USINAS *MINI-MILLS*

Inventado na França em 1899, o Forno Elétrico a Arco (FEA) ou *Electric Arc Furnace* (EAF), base da rota semi-integrada já é uma tecnologia antiga. Em 1909, foi instalado o primeiro forno elétrico de uso comercial nos Estados Unidos pela empresa US Steel, mas a oferta de energia impediu o sucesso da alternativa. Por volta da década de 30, voltou a ser utilizado na produção de aço pela empresa norte-americana Northwestern Steel and Wire Company, desta vez de forma mais perene. Entretanto, a oferta de sucata constituía um complicador que limitava a expansão da tecnologia. Apenas nos anos 60 a tecnologia do forno elétrico teve uma difusão significativa, fazendo emergir a nova rota tecnológica das *mini-mills*, tendo os Estados Unidos como berço desse movimento.

O movimento de internacionalização da siderurgia mundial tem se aproveitado dos processos de privatização, como já mencionado anteriormente, e também da difusão do conceito de semi-integrado. Apesar de ainda serem considerados 1/3 da produção total no mundo, encontram-se em processo de expansão, devido a suas estruturas menos complexas e sua independência do insumo de minério de ferro (CARVALHO et al., 2007).

De acordo com a WorldSteel Association (2010b), em 2010, 29% da produção mundial de aços brutos foi executada por meio de usinas semi-integradas e os 71% remanescentes, por meio de processo integrado. Apesar de possuírem grandes capacidades de produção, estas últimas são em número menor, principalmente, devido ao tamanho das suas estruturas e ao volume de capital empregado.

Na Tabela 2 pode-se observar a produção de aços brutos por país e por tipo de processo de produção.

Tabela 2 – Produção de aços brutos por rota tecnológica em 2010

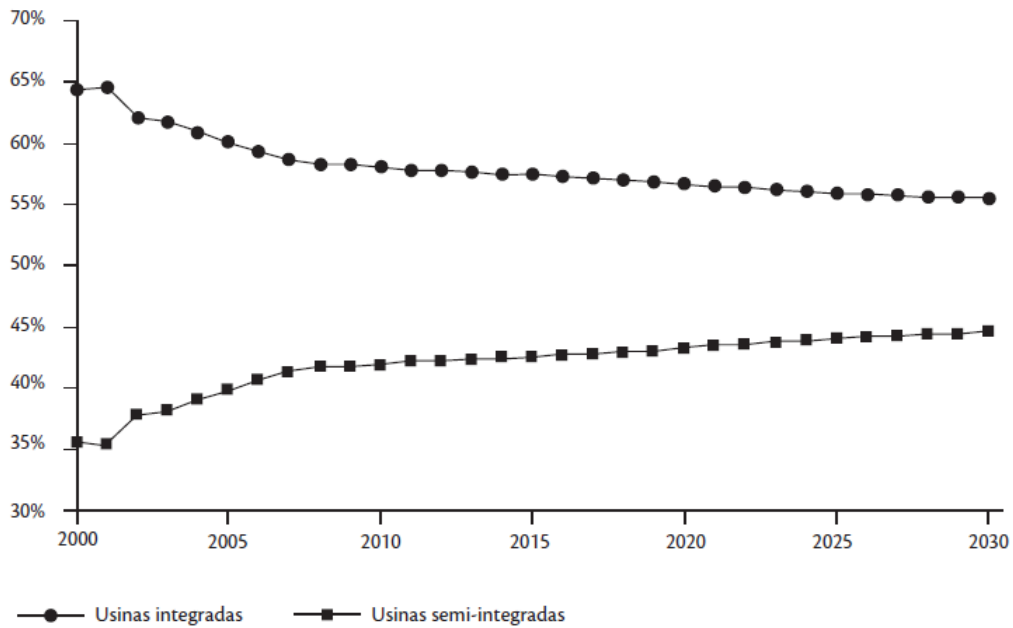
País	Produção de aço bruto (em milhões de toneladas)	Produção por rota	
		Semi-integradas	Integrada
Produção Global	1.395	28,7%	71,3%
China	627	9,8%	90,2%
Japão	110	21,8%	78,2%
EUA	81	61,3%	38,7%
Rússia	67	26,9%	73,1%
Índia	67	59,8%	40,2%
Coréia do Sul	58	41,6%	58,4%
Alemanha	44	30,2%	69,8%
Ucrânia	33	4,5%	95,5%
Brasil	33	23,8%	76,2%

Fonte: Worldsteel Association (2010a)

Algumas regiões contrariam o cenário mundial tendo suas usinas predominantemente semi-integradas, utilizando-se de fornos elétricos a arco. A América do Norte é a região que apresenta em média 70% das suas capacidades produtivas em usinas *mini-mills*. Os Estados Unidos, pela sua forte concentração em fornos elétricos são, atualmente, os maiores consumidores de sucata no mundo (em números relativos à produção) e contam com uma indústria sucateira desenvolvida e organizada. Já no Brasil, cerca de 76% da produção de aço bruto provém de conversores LD, representando a maior taxa de difusão frente à média mundial, e explicada pela disponibilidade de minério de ferro de alta qualidade (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2010a).

Entretanto, em termos prospectivos, de acordo com CGEE (2009), é previsto que a participação das usinas integradas diminua ao longo do tempo, não a ponto de ser suplantada pelas usinas semi-integradas, mas com possibilidades de mudanças no cenário das rotas tecnológicas. Hidalgo et al. (2005), divulgou no ano de 2005 uma perspectiva sobre o crescimento nas *mini-mills* até 2030. Pode-se verificar que o resultado não reflete o cenário atual, se comparado com os dados reais de 2010 da Worldsteel Association (2010a). Entretanto, se a comparação desconsiderar o crescimento da China, predominantemente de usinas integradas devido à escassez de sucata, os resultados são compatíveis com a realidade. No Gráfico 1 é apresentada a prospecção sobre o crescimento das rotas tecnológicas siderúrgicas.

Gráfico 1 - Participação (%) das usinas na produção mundial de aço de 2000 a 2030



Fonte: Hidalgo et al. (2005)

Parte desta tendência é explicada pelos sinais de esgotamento nas mudanças incrementais de tecnologia utilizadas nas usinas integradas. O tempo de produção dessas unidades, apesar das melhorias realizadas, tem se mantido os mesmos há mais de uma década. Aliado a isso, citam-se também aspectos voltados ao meio-ambiente, como uma maior emissão de carbono por tonelada e o fato de seus coprodutos (escória) não terem uso comercial significativo (CGEE, 2010).

Enquanto isso, as inovações tecnológicas associadas às usinas *mini-mills* têm resultado em aprimoramento dos parâmetros operacionais, não apenas em termos de eficiência energética e tempo de corrida do aço (*tap-to-tap*), mas também em relação à melhoria da qualidade do produto. Observa-se que a aciaria elétrica tem aumentado sua participação em termos mundiais, como resultado da menor intensidade de investimento, da aceitação mais generalizada do conceito de usinas semi-integradas e do crescente uso da energia química para complementar o uso da energia elétrica no processo. Este avanço – em termos de participação na produção mundial – seria ainda maior se não fosse o fato de que a expansão da siderurgia chinesa tem sido baseada especialmente em aciarias LD, diante da baixa disponibilidade de sucata ferrosa no país (CGEE, 2010).

Mesmo com o rol de benefícios encontrados nas estruturas de mini-siderurgias, CGEE (2009) salienta alguns desafios para os países que objetivam mudar de cenário e se movimentar em direção à produção via *mini-mills*. Inicialmente cita a necessidade da

disponibilidade do insumo mais importante deste processo produtivo, a sucata, bem como a produção de seus substitutos como o ferro-gusa. No Brasil, estudos já realizados demonstram que a geração futura de sucata pode suportar o crescimento da produção de aço para até aproximadamente 2015. Entretanto, segundo a Worldsteel Association (2010), em algumas localidades dos Estados Unidos, Ásia e Europa, por exemplo, já se constata a importação da matéria-prima para suprir a necessidade das siderurgias.

Além disso, o controle sobre o custo da energia elétrica é fator importante para tornar a rota *mini-mill* competitiva. Segundo a CGEE (2009), ressalta-se a preocupação em garantir o suprimento de energia em condições competitivas para as usinas à base de fornos EAF. Tal prioridade se justificaria pelo fato de que as aciarias elétricas evitam consumos intensivos de carvão, representando, portanto, uma produção mais limpa que as demais rotas tecnológicas. Outras perspectivas de incentivos demonstram ainda que o desenvolvimento de sistemas para o aproveitamento do gás liberado pela aciaria elétrica para cogeração possibilitará, também, a redução da emissão de gás de efeito estufa.

Para Piccinini, Oliveira e Rubenich (2009), a infra-estrutura de transporte de sucata e outros metálicos também é um fator importante de adequação, caso contrário observa-se o aumento significativo nos custos do produto final. Este é um ponto a ser levado em consideração independente da tecnologia de produção utilizada, seja através de sucata ou minério de ferro. É um desafio principalmente para países em desenvolvimento, que possuem uma malha rodoviária, ferroviária e portuária com conhecidas deficiências e que atualmente representam o mercado potencial de produtos siderúrgicos.

2.3 PRINCIPAIS INSUMOS E PRODUTOS DAS USINAS SEMI-INTEGRADAS

Uma das características marcantes da siderurgia moderna é ser extremamente intensiva em matéria-prima, energia, capital e conhecimento (CGEE, 2009).

A sucata, a principal matéria-prima das usinas *mini-mills*, corresponde historicamente a quase 100% da carga de fornos elétricos. Sua oferta é fator determinante para o desenvolvimento destas usinas, tanto regionalmente como globalmente. Os Estados Unidos, que, com a forte ascensão das *mini-mills*, tornaram-se os maiores consumidores de sucata no mundo, contam com aproximadamente 3.500 processadores, o que posiciona o país também como maior exportador mundial de sucata de aço. Já o Brasil mantém nas usinas integradas a maior parte de sua produção, pois experimenta uma situação inversa, com dificuldades na

organização do mercado sucateiro e abundância na oferta de minério de ferro com qualidade (ANDRADE; CUNHA; DANDRA, 2000).

Destaca-se, entretanto, que inovações tecnológicas nos processos têm viabilizado o crescimento da produção e da utilização de substitutos parciais para sucata, como o DRI (*direct reduced iron*), HBI (*hot briquetted iron*), o ferro-gusa e o ferro-esponja. Essas fontes de ferro primário têm sido mais demandadas não só pelas oscilações de preço e oferta da sucata, mas também pelo enobrecimento do mix de produtos ofertados pelas *mini-mills*. A confecção de produtos com maior agregação de valor demanda um aço de melhor composição e, conseqüentemente, requer uma carga de insumos com maior grau de pureza, ou seja, sucata de alta qualidade e com baixo nível de contaminante ou maior quantidade de ferro-esponja/gusa para complementação da carga (CGEE, 2009).

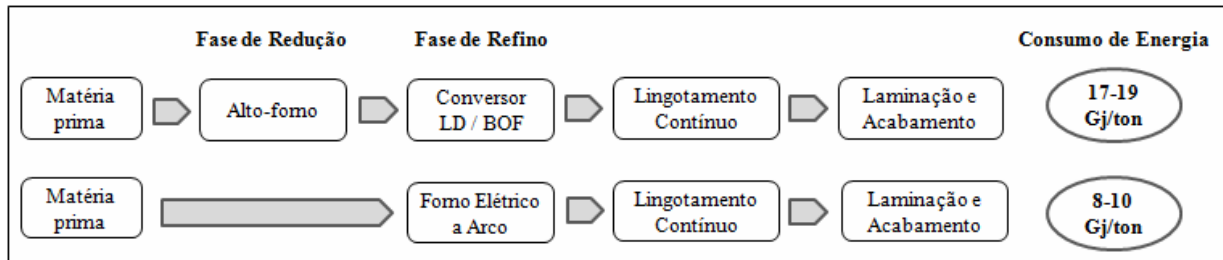
A principal diferença da situação brasileira, e também de alguns países da América Latina, frente à indústria mundial refere-se à utilização de uma elevada proporção de ferro-gusa sólido na carga das aciarias elétricas. Isso decorre da carência estrutural da oferta de sucata, por sua vez ocasionada pelo baixo consumo per capita de produtos siderúrgicos em anos anteriores. Diante desta limitação, essas siderúrgicas desenvolveram e aperfeiçoaram o uso de ferro-gusa sólido na carga metálica dos EAFs. Este fator proporciona vantagens para os produtos gerados, como a padronização dos *outputs* com características físicas e químicas adequadas, além de produtos isentos de elementos contaminantes (como o cobre, cromo, estanho e níquel), que prejudicam a qualidade do aço (CGEE, 2009).

Outro insumo importante nas usinas semi-integradas é a energia elétrica. A eletricidade responde por cerca de 65% do consumo total de energia de um forno elétrico a arco. Os restantes 35% são oriundos de energia química gerada pela oxidação do carbono e do ferro e pelos queimadores de combustível. Além disso, o consumo energético unitário por tonelada de aço é significativamente maior (quase o triplo) do consumo da aciaria a oxigênio (BRASIL, 2009).

Entretanto, ao comparar o consumo de energia (seja elétrica, mineral ou vegetal) de uma usina integrada (incluindo todos os seus processos) com uma usina *mini-mill*, observa-se que esta última representa o menor índice de utilização. Além de apresentar um consumo menor, a energia é mais limpa, por não usar carvão mineral ou vegetal na transformação do minério de ferro. Quando se utiliza a sucata para produção de aço, elimina-se a parcela de consumo relativa à redução do minério de ferro reduzindo assim a energia consumida. O ponto crítico desse insumo para as aciarias semi-integradas é sua disponibilidade e o custo viável frente ao mercado (MA et al., 2002).

Na Figura 3 pode-se confirmar o menor consumo de energia nas usinas *mini-mills* quando comparadas com usinas integradas, em gigajoule por tonelada produzida, através do fluxo demonstrado.

Figura 3 – A rota tecnológica das usinas semi-integradas



Fonte: CGEE (2010)

Para Memoli, Ferri e Freitas (2009), uma das formas de redução do consumo de energia elétrica na indústria siderúrgica, em usinas semi-integradas, tem sido a difusão de novas tecnologias. Como exemplo pode-se citar a adoção de fornos Consteel, os quais mantêm os fornos constantemente abastecidos, evitando o desligamento e se aproveitando da inércia térmica.

Outro insumo intensivo na fabricação do aço, juntamente com a sucata e a energia elétrica, é o capital. Os custos dos materiais e equipamentos utilizados na produção do aço são elevados, nas grandes usinas integradas, que incluem coqueria, sinterização ou pelotização, alto-forno e aciaria, assim como nas *mini-mills*. Além disso, a manutenção dos equipamentos e a aquisição de novas tecnologias contribuem para os investimentos constantes. Entretanto, observa-se que o aumento na produção de aço através de usinas semi-integradas abre oportunidades para novos entrantes ou até mesmo para a expansão de grandes grupos siderúrgicos ao ampliarem suas capacidades instaladas. Mesmo ainda sendo um investimento alto, o capital necessário é menor, assim como a complexidade do negócio (CGEE, 2009).

Constata-se, também, que a constante adoção de processos mais compactos e inovações tecnológicas, tem tornado a indústria menos intensiva em mão-de-obra, e com flexíveis regras de trabalho, pela forte influência dos sindicatos. Desde o início dos anos 90, no Brasil, nota-se a redução de empregos no setor siderúrgico, impulsionado, principalmente, pelo período de pós-privatizações e os grandes investimentos dos grupos privados (PICCININI; OLIVEIRA; RUBENICH, 2009).

A mudança de cenário, marcada por uma siderurgia cada vez mais voltada para a modelagem matemática, automação e controles sofisticados, exige uma força de trabalho cada

vez menor e mais qualificada. Andrade, Cunha e Dandra (2002) comentam a necessidade de uma mudança na formação de novos profissionais, os quais deverão estar aptos a absorver novas tecnologias, mas principalmente evoluir em novos desenvolvimentos de matérias-primas, processos e produtos.

Assim, apresentado os conceitos e características do processo siderúrgico, identifica-se que a produção de aço bruto nas usinas *mini-mills* será foco deste estudo, com a finalidade de mensurar os índices de eficiência. Esta escolha deve-se à similaridade do processo e dos *inputs* e *outputs* nestas unidades, o que possibilita a comparação e seleção de *benchmarks*. Não será mensurada a produtividade dos processos de laminação e trefilaria, os quais ocorrem após a obtenção do aço bruto, devido à variação dos produtos gerados e dos equipamentos utilizados, o que dificultaria a identificação de um grupo de unidades semelhantes.

3 A EMPRESA GERDAU S.A.

A história da Gerdau S.A. é o resultado de aquisições corporativas, fusões e outras transações ocorridas desde o ano de 1901. A Companhia iniciou suas operações, naquele ano, com a fábrica de pregos Pontas de Paris, sediada em Porto Alegre e controlada pela família Gerdau, a qual permanece, até os dias atuais, como a acionista controladora indireta da Companhia. Em 1969, a Pontas de Paris teve sua denominação alterada para Metalúrgica Gerdau S.A., que é hoje a *holding* controlada pela família Gerdau por meio de *holdings* intermediárias, as quais, por sua vez, controlam a Gerdau S.A (GERDAU, 2010a).

De 1901 a 1969, a fábrica de pregos cresceu e expandiu seus negócios para uma variedade de outros serviços e produtos ao aço. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, em um esforço para expandir suas atividades e aumentar seu acesso a matérias-primas, a Gerdau adquiriu a primeira siderúrgica no Rio Grande do Sul. Em 1948, iniciou suas operações siderúrgicas, antecipando o modelo de *mini-mill*, o que se tornaria o modelo principal das suas operações. Em 1957, a Companhia instalou uma segunda unidade no estado do Rio Grande do Sul, na cidade de Sapucaia do Sul (JOHANNPETER et al., 2001).

Em 1967, a expansão da Companhia chegou ao estado de São Paulo e, em seguida, expandiu-se em direção ao nordeste do país, iniciando a produção de aços longos por meio de uma nova siderúrgica no estado de Pernambuco. Após, vieram aquisições no Paraná e no Rio de Janeiro, sendo esta última, atualmente, a maior usina semi-integrada da América Latina. Desde então, por meio de uma série de aquisições e novas operações, a Gerdau S.A. expandiu sua presença nacional, possuindo hoje 15 usinas siderúrgicas no Brasil.

O processo de internacionalização da empresa iniciou em 1980 com a aquisição da Siderúrgica Laisa, no Uruguai, e continuou em 1989, com a aquisição da Gerdau Ameristeel Cambridge, no Canadá, quando o processo de internacionalização e privatizações mundiais de fato iniciou. Três anos mais tarde, a Gerdau assumiu o controle das empresas Indac e AZA, no Chile. Com o passar dos anos, ampliou sua participação no mercado internacional por meio de aquisições de unidades na Argentina e, principalmente, na América do Norte, com a Gerdau Ameristeel, em outubro de 2002, tornando-se então a segunda maior produtora de aços longos na América do Norte (GERDAU, 2010a).

Para Piccinini, Oliveira e Rübenich (2009), o processo de internacionalização da Gerdau mescla antecipação, competência técnica e administrativa e avaliação de oportunidades. A forma como o processo de privatização se deu no Brasil contribuiu para a expansão da empresa nacionalmente, pela incorporação de usinas estatais de baixa

produtividade e processos atrasados. O governo criou condições favoráveis em termos de custo e formas de pagamento, com forma de incentivo aos grupos privados. Evidencia-se, assim, que foi tanto competência interna quanto um estímulo externo que deram início e contribuíram para o rápido processo de internacionalização da empresa.

Somam-se a isto, as características da reestruturação do setor siderúrgico, como a concentração (fusões, incorporações e fechamento de unidades), aumento das escalas de produção, especialização de produtos, ênfase nas questões ambientais, novos modelos de administração e formação de grandes blocos regionais. Além disso, a expansão das *mini-mills* e o deslocamento de parte da produção e do consumo de países desenvolvidos para países em desenvolvimento também contribuíram para o crescimento da siderurgia brasileira.

A história de crescimento geográfico da empresa une-se a acontecimentos que marcaram, também, a sua evolução na qualidade e gestão dos processos. O grupo demonstra um curso focado na direção do mercado e na preocupação com as melhores práticas nos processos de produção e gestão. Sobretudo em relação a esta última, Johannpeter et al.. (2001) mencionam que a tecnologia mais importante e a que tem realizado maior impacto positivo sobre o desempenho da organização não é apenas a tecnologia industrial, mas também a de gestão. Isso explica a divulgação e aplicação do conceito de Qualidade Total pela empresa desde o início da década de 80, fortemente influenciada pelos *benchmarks* identificados nas visitas realizadas às empresas japonesas.

Em 31 de dezembro de 2010, a capacidade instalada consolidada, excluindo os investimentos da Companhia em empresas com controle compartilhado e associadas, foi de aproximadamente 26 milhões de toneladas de aço bruto e 21 milhões de toneladas de produtos laminados. Na mesma data, a Companhia possuía ativos totais consolidados de R\$ 42,9 bilhões, patrimônio líquido (incluindo participações minoritárias) de R\$ 20,1 bilhões e uma receita líquida consolidada de R\$ 31,4 bilhões, com lucro líquido consolidado de R\$ 2,5 bilhões (GERDAU, 2010b).

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2010b), em 2010 a Gerdau foi considerada a maior produtora de laminados longos de aço. Além disso, detém uma participação de mercado significativa para as indústrias de aço de quase todos os países onde atua e foi classificada pela Associação Mundial do Aço como a 10^o maior produtora com base na sua produção consolidada de aço bruto em 2009, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Produção mundial de aço bruto por Empresa

Posição	Empresa	Produção em milhões de toneladas	Sede
1	ArcelorMittal	98.2	Luxemburgo
2	Baosteel	37.0	China
3	POSCO	35.4	Coréia do Sul
4	Nippon Steel	35.0	Japão
5	JFE	31.1	Japão
6	Jiangsu Shagang	23.2	China
7	Tata Steel	23.2	Índia
8	U.S. Steel	22.3	Estados Unidos
9	Ansteel	22.1	China
10	Gerdau	18.7	Brasil

Fonte: Worldsteel Association (2010a)

É importante citar que a empresa passou seus 110 anos de existência apresentando lucro em todos os seus exercícios. Os dados financeiros dos anos de 2006 a 2010 reportados na Tabela 3 expressam os bons resultados da Gerdau nos últimos anos. Esses números são reflexo de diversos fatores ocorridos nos últimos anos, os quais incluem aquisições de novas empresas, expansões, grandes projetos de investimento de melhoria e aplicação de práticas de qualidade, tanto nas operações como na gestão (GERDAU, 2009).

Tabela 3 - Indicadores financeiros (em milhares de reais)

Indicador Financeiro	2010	2009	2008	2007	2006
Vendas líquidas	31.393.209	26.540.050	41.907.845	30.613.528	25.883.911
Lucro Bruto (LB)	5.519.733	4.234.500	10.679.810	7.287.453	6.844.645
LB/Vendas (%)	17,58%	15,95%	25,48%	23,80%	26,44%

Fonte: Gerdau (2010a)

O ano de 2009 foi particularmente um período de expressiva mudança de cenário, reflexo da crise econômica mundial. Houve ajustes nos processos para adaptação à menor demanda por aço no mundo e a empresa se movimentou para redução dos custos, capital de giro e do endividamento, mantendo forte atuação na manutenção da posição de caixa. Nesse ano, os custos fixos de produção foram diminuídos em R\$ 2 bilhões, o capital de giro em R\$ 5 bilhões e a dívida líquida em R\$ 8 bilhões (GERDAU, 2010a).

Apesar da crise, a empresa ainda realizou investimentos expressivos no ano de 2010, na ordem de R\$ 16,2 milhões em capacitações internas, buscando mais eficiência para as operações, além do aporte de R\$ 39,9 milhões em novos equipamentos e tecnologias para a prevenção de acidentes e promoção da segurança nas usinas. Nesta área, a prática da Hora da Segurança realizada nas unidades no Brasil foi internacionalmente reconhecida pela

WorldSteel Association, atividade que envolve, diariamente, mais de 1,2 mil líderes e suas equipes, os quais se reúnem diariamente para tratar do tema, gerando aprimoramento contínuo das práticas e resultados nessa área (GERDAU, 2010a).

3.1 ESTRUTURA DE OPERAÇÕES DA GERDAU

Atualmente, a companhia possui mais de 200 unidades industriais e comerciais, além de duas *joint ventures* e quatro empresas associadas, o que faz com que esteja presente no Brasil, Argentina, Chile, Colômbia, Peru, Uruguai, México, Venezuela, Guatemala, República Dominicana, Estados Unidos, Canadá, Espanha e Índia (GERDAU, 2010b).

Desde 2009, o Conselho de Administração da Companhia aprovou a proposta do Comitê Executivo relativa à nova governança da Companhia, realizando a divisão dessas unidades em operações de negócios com o objetivo de facilitar a gestão, o acompanhamento dos resultados e a sua comparação. A segmentação de negócios definida pelo Comitê está representada no Quadro 2.

Quadro 2 – Estrutura de Operação da Gerdau S.A.

Operação de Negócio	Composição	Unidades Produtoras em Operação	Capacidade Instalada (1.000 ton)
Brasil	Operações no Brasil, com exceção de aços especiais	Usinas <i>mini-mills</i> , Usinas integradas, Alto-fornos, Unidades Laminadoras, Fábricas de Corte e Dobra de Aço e Unidades Comerciais	9.400
América do Norte	Operações da América do Norte com exceção do México e aços especiais	Usinas <i>mini-mills</i> , Unidades Laminadoras, Fábricas de Corte e Dobra de Aço e Unidades Comerciais	10.100
América Latina	Operações na América Latina com exceção do Brasil	Usinas <i>mini-mills</i> e Alto-forno	2.700
Aços Especiais	Operações produtoras de aços especiais no Brasil, Espanha e nos Estados Unidos	Usinas <i>mini-mills</i>	3.800

Fonte: Gerdau (2009)

No Brasil, a Companhia tem um processo de produção dividido entre usinas *mini-mills* e unidades integradas, com forte concentração de produção nestas últimas. Entretanto, para produzir produtos de aço fora do país a empresa utiliza basicamente o modelo semi-integrado.

No total, estão em operação 39 usinas *mini-mills* (excluindo as *joint ventures* e as companhias coligadas) e 5 usinas integradas, 4 localizadas no Brasil e uma no Peru (GERDAU, 2011a).

A produção realizada através das usinas semi-integradas representa aproximadamente 75% do total de aço bruto produzido pela companhia, além de representar vantagens importantes em comparação com as integradas, as quais fazem destas usinas peças importantes da estratégia da Gerdau. São elas:

- custo de capital mais baixo facilitando a implantação de novas unidades;
- menores riscos operacionais devido a não concentração de capital e capacidade instalada em uma única unidade de produção;
- proximidade das unidades de produção às fontes de matéria-prima;
- proximidade dos mercados locais e maior facilidade para ajustar os níveis de produção;
- estrutura gerencial mais eficaz devido à relativa simplicidade do processo de produção.

A estratégia da Gerdau de internacionalização pela expansão produtiva se destaca de grande parte das multinacionais brasileiras, as quais procuram o mercado externo apenas para atividades comerciais e de distribuição. A operação da empresa baseia-se na aquisição ou construção de usinas siderúrgicas localizadas nas proximidades de seus clientes e das fontes de matérias-primas necessárias para a produção de aço, como sucata metálica, ferro-gusa e minério de ferro. Por essa razão, historicamente, a maior parte de sua produção tem sido direcionada para abastecer os mercados locais onde possui operações de produção. No entanto, há também uma parcela relevante de sua produção exportada para outros países (MORILHAS; FEDICHINA; GOZZI, 2007).

Além disso, por meio de suas subsidiárias e coligadas, a empresa também participa de outras atividades relacionadas à produção e venda de produtos siderúrgicos, incluindo projetos de reflorestamento, geração de energia elétrica, produção de carvão coqueificável, minério de ferro e ferro-gusa, além das unidades próprias de serviços (*fab shops*) e de transformação (GERDAU, 2011a).

No exercício encerrado em 31 de dezembro de 2010 a proporção da participação das operações sobre as vendas totais da companhia foram: 38% geradas a partir da Operação de Negócio (ON) Brasil, 33% na América do Norte, 13%, na América Latina e 16%, em Aços Especiais. Os resultados comprovam a presença da empresa no mercado interno e também

fora do Brasil, além da relevância dos seus parques industriais internacionais no seu resultado consolidado. Na Tabela 4 é possível verificar os resultados por segmento de negócio.

Tabela 4 – Resultado por Operação de Negócio

Resultados	Brasil			América do Norte			América Latina			Aços Especiais		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Receita líquida (R\$ milhões)	14.433	10.332	12.459	15.017	8.293	8.835	4.473	3.137	3.487	7.983	4.777	6.610
% da Receita Consolidada	34%	32%	39%	35%	26%	28%	11%	10%	11%	19%	15%	21%
Lucro Líquido (R\$ milhões)	2.815	2.178	1.198	1.057	(236)	147	454	(324)	225	617	(613)	886
% do Lucro Consolidado	56%	88%	48%	21%	-9%	6%	9%	-13%	9%	12%	-25%	36%

Fonte: Gerdau (2011a)

Observa-se que o Brasil, América Latina e o segmento de Aços Especiais têm crescido a sua participação na receita líquida consolidada da empresa, assim como têm demonstrado uma recuperação dos montantes de receita em comparação com o ano de 2009. Enquanto isso, a América do Norte ainda apresenta sinais claros de reestruturação pós-crise com receita similar a 2009. Entretanto, apesar do crescimento da produção o lucro líquido demonstra claramente a dificuldade em se estabelecer os mesmo níveis do ano de 2008 quando o mercado siderúrgico atingia o seu máximo em termos de produção e preços de venda. Este cenário das operações justifica a constante preocupação com a eficiência, qualidade e redução de custos como forma de alcançar melhores margens.

O maior volume de vendas em 2010 foi reflexo da maior demanda em praticamente todas as operações da Gerdau. Na ON Brasil, o aumento das vendas é decorrente do aquecimento no mercado interno, enquanto na América Latina, destacam-se as maiores vendas na Colômbia, México e Argentina, as quais são reflexo da boa demanda do setor de construção nesses países. Na ON América do Norte, a recuperação de volumes foi resultante dos maiores níveis de demanda observados na região, principalmente pelos clientes da indústria e do setor de energia. Por outro lado, o setor de construção permanece em níveis abaixo do histórico. Na ON Aços Especiais, as operações no Brasil e nos Estados Unidos apresentaram estabilidade, em virtude dos altos patamares de vendas já alcançados. Nos mercados atendidos pela Espanha, entre eles Alemanha e França, onde a demanda estava mais reprimida no ano anterior, as vendas apresentaram recuperação (GERDAU, 2011b).

No mercado internacional, a Companhia enfrenta forte concorrência do Leste Europeu (CIS) na linha de produtos de qualidade comercial. Os principais concorrentes nos produtos de alta qualidade são os europeus e, em menor proporção, os japoneses. Na América do Norte,

a subsidiária Gerdau Ameristeel aumentou sua participação de mercado por meio de aquisições e, atualmente, é a segunda maior produtora de aço pelo processo de usina semi-integrada, com capacidade nominal anual de 10,4 milhões de toneladas de aços brutos. No Brasil, no acumulado de janeiro a novembro de 2010, a Companhia foi a maior produtora brasileira de aços longos e a segunda maior produtora de aço bruto (GERDAU, 2011a).

A presença marcante da Gerdau demonstra a sua importância para a economia devido à sua relevante participação em operações comerciais nos mercados onde atua e, também, pelos constantes investimentos realizados nas suas operações de negócio. Em 2010, os investimentos em ativo imobilizado somaram R\$ 1,3 bilhão. Desse total, 72% foram direcionados para as unidades no Brasil e os demais 28% para as unidades em outros países (GERDAU, 2010b).

Por fim, devido à importância desta organização, cuja sua atuação e seus concorrentes são consideradas mundiais, torna-se imperativo que as suas usinas siderúrgicas e demais unidades mantenham-se eficientes e, ao mesmo tempo, conectadas aos objetivos da Gerdau, como grupo siderúrgico. Para dar suporte à análise que será realizada sobre estas usinas, no capítulo seguinte é definido o conceito de eficiência, descrevendo seus desdobramentos no setor siderúrgico e o modelo de Análise Envoltória de Dados.

4 EFICIÊNCIA E A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Este capítulo aborda os conceitos de função de produção e eficiência, análise de outros estudos relacionados ao tema no setor siderúrgico e o modelo de Análise Envoltória de Dados, adotado neste estudo para mensuração da eficiência relativa.

4.1 FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E O CONCEITO DE EFICIÊNCIA

A função de produção é definida como a relação matemática que estabelece a quantidade máxima de produto que pode ser produzido a partir de um conjunto de insumos, para uma dada tecnologia. De uma forma geral, a função de produção é representada pela equação (1).

$$Q = f(L, K, \tau) \quad (1)$$

Onde:

- Q representa a quantidade produzida;
- L a mão-de-obra empregada;
- K o capital investido;
- τ o nível tecnológico utilizado.

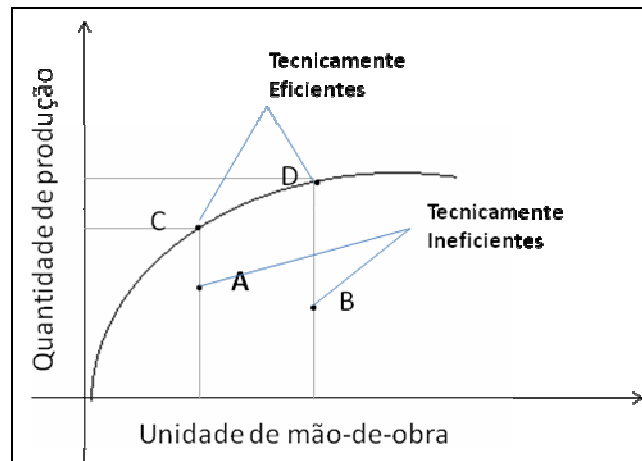
Nesta forma genérica, o capital e o trabalho são os fatores que provocam variações ao longo da função de produção, enquanto a tecnologia pode deslocar a função, fazendo com que a empresa possa produzir mais a partir de uma mesma combinação de insumos, ou utilizar menos insumos para um dado nível de produção. Assim, se a função de produção estabelece a relação máxima de produto para cada nível de insumo, ela, então, define os pontos de eficiência técnica.

Para Besanko e Braeutigam (2004), a eficiência de uma empresa pode ser atingida sob diferentes aspectos, os quais estão associados ao que se pretende mensurar e aos objetivos da empresa em questão. Como exemplo, uma empresa pode ser eficiente no que diz respeito aos seus custos, ou com relação ao aumento de sua produção, ou ainda na melhora na qualidade dos produtos, dependendo do seu foco de atuação.

Na Figura 4 tem-se a representação gráfica de uma função de produção de uma indústria, onde se pode verificar a relação entre o nível de produção para diferentes quantidades de mão-de-obra empregada, em um dado nível de capital e tecnologia. Os pontos A, B, C e D representam o volume de produção de quatro empresas, sendo as duas últimas

tecnicamente eficientes e as duas primeiras tecnicamente ineficientes, uma vez que não produzem volumes adequados para os insumos utilizados (BESANKO; BRAEUTIGAM, 2004).

Figura 4 – Eficiência e Ineficiência Técnica



Fonte: Besanko e Braeutigam (2004)

Ao conceito de função de produção, associa-se o conceito de eficiência econômica, a qual por sua vez pode ser decomposta em dois tipos, sendo eles: eficiência técnica e eficiência alocativa. Para Ferreira e Gomes (2009) e Peña (2008), um processo é considerado eficiente tecnicamente quando se emprega o menor nível de insumos possível para produzir um nível de produção ou, ainda, quando se alcança o maior nível de produção possível com um dado nível de insumo. Já para a eficiência alocativa, uma unidade produtiva é considerada mais eficiente quando consegue uma quantidade de produto igual à outra com menor custo, ou quando com o mesmo custo se obtém um nível de produção maior.

Peña (2008) conclui que quando se trata de eficiência econômica são envolvidos além dos aspectos físicos, os monetários. E a produção para ser economicamente eficiente requer eficiência técnica. Miller (1981) complementa que o resultado da eficiência técnica tem um fundo de eficiência econômica, porque, de certa forma, as empresas empregam seu capital, trabalho e tecnologia em oportunidades onde exista uma vantagem financeira em realizá-lo, do contrário não haveria sentido o investimento realizado.

Porém, uma organização tecnicamente eficiente pode ser ineficiente em termos alocativos, se ela não utiliza a melhor combinação de insumos, que minimiza os custos ou as melhores alternativas de suprimentos para a sua aquisição (PEÑA, 2008). De maneira geral, pode-se dizer que a eficiência econômica trata de unidades que visam à melhor utilização dos

recursos ou dos preços que esses representam, mas que também objetivam maior retorno financeiro (BARROS, E.; COSTA; SAMPAIO, 2004).

Vergés (2008) comenta que as diferenças encontradas nos resultados de eficiência econômica de um grupo de unidades podem ser associadas a fatores não controláveis pela administração, tais como: decisões políticas, incentivos fiscais e até mesmo diferenças cambiais. O autor enfatiza que a eficiência econômica é um resultado influenciado por estas questões no intuito de demonstrar que os escores obtidos não são decorrentes apenas do esforço da gestão, mas também por aspectos de mercado que, se bem aproveitados, podem contribuir no resultado final.

Ainda, para Vergés (2008), a eficiência pode ser vista segundo três diferentes dimensões, sendo elas: eficiência de gestão, eficiência de escala e eficiência de adaptação. Sob a ótica de gestão, considera-se que uma empresa está atuando com plena eficiência quando produz e coloca no mercado uma determinada quantidade de produtos com o menor custo possível permitido por sua estrutura e dimensão. Assim, quanto maior for sua eficiência de gestão, menor serão os custos incorridos para colocá-los no mercado. Já a eficiência de escala, implica em ter uma estrutura dimensionada (para maior ou menor) adequada ao volume que se está produzindo. Fazendo uma relação entre os dois conceitos, percebe-se que se a empresa opera com eficiência de gestão, porém seus custos de produtos ou serviços poderiam ser ainda menores caso a estrutura fosse redimensionada para os seus níveis de produção, então existe um problema de eficiência de escala.

Esses dois últimos conceitos concentram-se na idéia de produção com os menores custos possíveis. Entretanto, o conceito de eficiência de adaptação foca no que se deve produzir, ou seja, o produto ou serviço fruto da atividade da empresa é modificado ao longo dos anos, com o intuito de manter o atendimento à demanda do mercado.

É importante salientar que o conceito amplo de eficiência econômica inclui tanto a eficiência do ponto de vista de gestão dos recursos quanto da escala adequada para determinada operação. Já o conceito de eficiência de adaptação envolve a *performance* no desenvolvimento de produtos ou suas atualizações, o qual não estão contemplados nas funções de produção.

Ainda, como complemento aos conceitos de eficiência, a sua avaliação entre empresas pode ser realizada internamente, quando se analisam os resultados entre unidades de uma mesma empresa ou através da comparação de resultados obtidos ao longo de um determinado período para uma mesma entidade. E externamente, na comparação do indicador de eficiência com o de outras empresas, sejam elas concorrentes ou não (VERGES, 2008).

Nesta pesquisa, a análise da eficiência será realizada internamente, comparando unidades de um mesmo grupo siderúrgico, e utilizando-se para isso os conceitos de eficiência técnica e econômica. Na próxima seção, é realizada uma análise do estudo da eficiência, especificamente no setor siderúrgico, através de pesquisas que tratam deste tema.

4.2 EFICIÊNCIA NO SETOR SIDERÚRGICO

Emrouznejad, Parker e Tavares (2008) realizaram um levantamento bibliográfico de obras relacionadas à eficiência e produtividade desde o ano de publicação do trabalho seminal de Charnes, Cooper e Rhodes em 1978 até 2007 e, com base nesta pesquisa, verificaram o crescimento exponencial de trabalhos nos últimos anos. Adicionalmente, a tese desenvolvida por Kassai (2002) traz um minucioso resumo dos trabalhos no Brasil e no mundo. Em ambos, observa-se que a metodologia DEA possui aplicação prática imediata para análise de eficiência, por ser compatível com as observações tomadas rotineiramente dentro das empresas e fornecer resultados adequados à realidade empresarial e à percepção do mercado.

No que se refere ao setor siderúrgico, pesquisas já foram realizadas, as quais são apresentadas resumidamente em ordem cronológica no Quadro 3, com ênfase para o modelo utilizado, nas variáveis selecionadas para a mensuração da eficiência e nos seus objetivos.

Quadro 3 - Resumo dos estudos de eficiência em siderurgias

(continua)

Autores	Título	Fonte de informações	Modelo	Variáveis	Objetivo
Mariano (2010)	Análise da eficiência do setor siderúrgico brasileiro através do modelo DEA – <i>Data Envelopment Analysis</i>	Informações publicadas - Revista Exame Maiores e Melhores	DEA	Informações financeiras	Verificar a evolução da eficiência das empresas siderúrgicas brasileiras
Ramos (2007)	O desempenho do setor siderúrgico brasileiro: uma aplicação da Análise por Envoltória de Dados (DEA)	Informações publicadas - Revista Exame Maiores e Melhores	DEA	Informações financeiras	Identificar a capacidade discriminatória da DEA sobre a eficiência econômico-financeira da siderurgia brasileira
Perentelli (2007)	Aplicação do DEA no estudo da eficiência econômico-financeiras da indústria siderúrgica brasileira dos anos 2004 e 2005	Informações publicadas - Revista Exame Maiores e Melhores	DEA	Informações financeiras	Analisar a eficiência econômica-financeira do setor siderúrgico brasileiro
Kim, J. et al. (2006)	<i>Sources of productive efficiency: international comparison of iron and steel firms</i>	Informações publicadas no <i>World Steel Dynamics</i>	Modelos estocásticos	Dados de fatores de produção	Identificar fatores que contribuíram para o aumento da eficiência em siderurgias
Faria (2006)	Análise do desempenho do setor siderúrgico brasileiro de 1998 a 2004 utilizando a técnica de Análise Envoltória de Dados baseada em índices econômico-financeiros	Informações publicadas - CVM	DEA	Informações financeiras	Analisar o desempenho das 6 maiores empresas do setor siderúrgico brasileiro

(continuação)

Autores	Título	Fonte de informações	Modelo	Variáveis	Objetivo
Macedo, Santos e Silva (2004)	Avaliação de desempenho organizacional: utilizando análise envoltória de dados (DEA) em informações financeiras e não financeiras	Informações publicadas - Revista Exame Maiores e Melhores	DEA	Informações financeiras	Avaliar o desempenho empresarial através da técnica DEA de 13 em siderurgias brasileiras
Braglia, Zanoni e Zavanella (2003)	<i>Measuring and benchmarking productive systems performances using DEA: and industrial case</i>	Informações fornecidas pela empresa para o estudo	DEA	Dados de fatores de produção	Identificar nova forma de medição de desempenho em usinas de um mesmo grupo siderúrgico na Itália
Ma et al. (2002)	<i>Technical efficiency and productivity change of China's iron and steel industry</i>	Informações publicadas - <i>Yearbook of the Iron and Steel Industry</i>	Índice de Malmquist com o modelo DEA	Dados de fatores de produção	Identificar os fatores que afetaram a eficiência de empresas siderúrgicas chinesas durante 1989-1997
Mahadevan (2002)	<i>A DEA Approach to Understanding the Productivity Growth of Malaysia's Manufacturing Industries</i>	Dados publicados - Departamento de Estatística da Malásia.	Índice de Malmquist com o modelo DEA	Informações financeiras	Verificar o crescimento da produtividade de 28 indústrias da Malásia no período de 1981-1996
Lieberman e Johnson (1999)	<i>Comparative productivity of Japanese and U.S. steel producers, 1958-1993</i>	Informações publicadas – Relatórios anuais	Indicadores de eficiência definidos no estudo	Informações financeiras	Investigar o efeito de investimentos em tecnologia na eficiência de empresas americanas e japonesas
Ray, Seiford e Zhu (1998)	Market entity behavior of Chinese state-owned enterprise	Informações fornecidas pelo governo chinês.	DEA	Dados de fatores de produção	Identificar o efeito da reforma econômica na produtividade de empresas siderúrgicas chinesas estatais
Ray e Kim (1995)	Cost efficiency in US steel industry: a nonparametric analysis using DEA	Informações publicadas no <i>Bureau of Labour Statistics</i>	DEA	Dados de fatores de produção	Identificar os limites máximos e mínimos de eficiência técnica e alocativa em indústrias siderúrgicas dos EUA

Ao avaliar as pesquisas realizadas no setor de siderurgia é possível detectar que a ampla maioria dos estudos analisou a eficiência entre empresas utilizando-se de informações públicas. Atribui-se esta proporção de estudos em função da facilidade de acesso aos dados, visto que empresas siderúrgicas, em sua grande maioria, são companhias abertas e, portanto, são obrigadas a publicarem essas informações.

Através das pesquisas listadas no Quadro 3, identifica-se uma relação entre as fontes e os tipos das variáveis utilizadas com os objetivos dos estudos. De maneira geral, os estudos que utilizaram *inputs* e *outputs* derivados de informações financeiras tiveram como propósito a identificação das unidades mais eficientes e estabelecimentos dos *benchmarks*, tendo como foco a comparação. Já os estudos com variáveis baseadas em fatores de produção, buscaram a identificação de fatores influentes na eficiência das empresas, além de buscar a compreensão sobre as variações obtidas entre as unidades analisadas.

Aqueles baseados em informações financeiras, como os de Mariano (2010), Perentelli (2007) e Ramos (2007), não apresentam detalhes dos processos das empresas em análise,

focando apenas na eficiência econômico-financeira. A estes estudos podem-se atribuir também limitações nos seus resultados, uma vez que comparam empresas diferentes em seus processos, produtos e insumos. Além disso, ao utilizarem informações não-financeiras, divulgadas na Revista Exame Maiores e Melhores, são passíveis da subjetividade existente na composição destes.

Já os estudos de Kim, J. et al. (2006), Mahadevan (2002), Ray, Seiford e Zhu (1998) e Ray e Kim, H. (1995) utilizaram, também, dados publicados, entretanto, utilizando-se de dados sobre os fatores de produção, tais como horas de trabalho, capacidade de produção, entre outros. Apesar de apresentarem informações sobre os processos das DMUs, as mesmas limitações podem ser identificadas. No estudo de Ray e Kim, H. (1995), as diferenças entre os processos produtivos e os produtos das unidades foram mencionadas na conclusão como um ponto de atenção para comparação dos índices de eficiência.

Abordagens que tratam da comparação entre empresas possuem um grave obstáculo que é a dificuldade de estabelecer parâmetros comparáveis em termos de qualidade de produtos, processos produtivos e insumos. Além disso, as principais razões para complexidade na análise da eficiência entre unidades é a coexistência, dentro de uma mesma operação, de diversos critérios para avaliação de desempenho. Este fator é consequência da utilização de diferentes indicadores sobre a eficiência das suas operações, muitas vezes criados individualmente pelos gestores locais, e gerando dificuldade de interpretação e comparação dos diferentes resultados pela administração.

Por exemplo, o estudo de Macedo, Santos e Silva (2004) comparou a Gerdau Açominas que produz aços longos e aço bruto para exportação, com a Aços Villares que produz aços especiais com foco na indústria automobilística e a Albrás, que trabalha com produtos em alumínio. Logo, se está cotejando elementos que não possuem a mesma natureza e, portanto, impossíveis de serem comparados.

Nesse sentido, Vergés (2008) destaca que para avaliar a eficiência relativa das empresas é necessário que exista similaridade nos seus produtos, matérias-primas e no processo produtivo a fim de que se comparem processos com mesma qualidade e eficácia, além de produtos semelhantes. O contrário implicaria em problemas de interpretação dos resultados obtidos. Estes fatos podem ser observados também nos estudos de Kim, J. et al. (2006) e Ramos (2007) que trataram de empresas siderúrgicas com atividades diferentes.

Apenas o estudo de Braglia, Zanoni e Zavanella (2003), pesquisou sobre eficiência técnica e interna, avaliando usinas de uma mesma empresa siderúrgica e restringindo as limitações encontradas nos demais estudos, ao selecionar usinas com a mesma rota

tecnológica. Observa-se que este tipo de análise é escasso devido à dificuldade de acesso aos dados de empresas, as quais, normalmente, tratam como confidencial as informações sobre fatores de produção. Além disso, essas informações são consideradas indicadores não financeiros, dificilmente encontradas no nível de detalhe desejado nas demonstrações financeiras publicadas.

Através dos resultados, identificou-se que o parâmetro crítico para melhoria da eficiência é o tempo de parada das máquinas, o qual impacta diretamente no volume de produção. Interessante mencionar que a usina afetada diretamente por esse fator foi escolhida estrategicamente pela administração por privilegiar a flexibilidade no atendimento de pedidos especiais. Outros aspectos relevantes identificados foram: (a) *inputs* e *outputs* que precisam ser alterados para permitir que plantas ineficientes atinjam melhores índices de *performance* e (b) o limite mínimo requerido para essas mudanças. Devido a estes pontos identificados na pesquisa, a administração conclui sobre a relevância do modelo DEA para a análise dos escores de eficiência (BRAGLIA; ZANONI; ZAVANELLA, 2003).

Os estudos internacionais de Kim, J. et al. (2006) e de Ray e Kim, H. (1995), trazem conclusões importantes sobre os fatores influenciadores da produtividade, uma vez que pesquisaram em um universo de empresas localizadas em diferentes países. O primeiro pesquisou 55 empresas em 20 países, procurando identificar a fonte do aumento de eficiência ao longo dos anos de 1978-1997 através de três aspectos, normalmente observados por economistas e analistas de mercado, sendo eles: privatizações, economia de escala e tecnologia. Na amostra selecionada, os três fatores se confirmaram como influenciadores no aumento da produtividade. A privatização influenciou em 14% no aumento de produção com o volume de *inputs* e a economia de escala foi confirmada nos resultados. Outra conclusão importante foi a influência direta da modernidade dos equipamentos, inclusive superando perdas de produtividade que possam ocorrer devido ao tempo de adaptação e os possíveis retornos aos equipamentos antigos para ajustes de processos. As três empresas mais eficientes, localizadas na Coreia, Japão e França, passaram por privatizações no período do estudo, receberam investimentos para atualização do parque de máquinas e apresentaram forte relação entre a eficiência econômica e o nível de produção (economia de escala).

Ray e Kim, H. (1995) também compararam a eficiência entre empresas focando no impacto exercido pela tecnologia. Entre 80 empresas americanas e japonesas, observou-se que a melhoria nos custos de produção é factível através de investimentos na tecnologia de produção existente. Adicionalmente, concluíram que, mesmo com a redução dos custos de produção indicada pelo estudo, as empresas americanas não conseguiriam se igualar aos

níveis de eficiência obtidos por empresas japonesas no mesmo período, uma vez que estas já possuíam níveis de eficiência de seus processos produtivos bastante altos.

Diante dos estudos analisados, ressalta-se a relevância de se ampliar a pesquisa com base em eficiência, nos diversos setores, já que os resultados obtidos podem ser utilizados pelas empresas como instrumento para comparação de produtividade, para comparar sua atuação com empresas concorrentes ou até mesmo como base para conhecimento sobre uma determinada indústria. Entretanto, com os estudos apresentados no Quadro 1 e, inclusive, através da pesquisa de Emrouznejad, Parker e Tavares (2008) e Kassai (2002), nota-se um número reduzido de trabalhos com enfoque na eficiência do setor siderúrgico. Observa-se uma quantidade expressiva de estudos no setor elétrico, incluindo distribuição e geração, setor bancário, universidades, além da análise de empresas agrícolas e cooperativas.

Devido à grande importância do setor siderúrgico e a baixa incidência de artigos científicos encontrados, o resultado desta pesquisa apresenta uma oportunidade para novos estudos, principalmente, no que diz respeito à análise interna, entre unidades de uma mesma organização. Ainda é possível identificar questões importantes tratadas em alguns artigos, mas em nenhum de forma conjunta, que proporcione uma conclusão detalhada relacionando os fatores aos índices de eficiência encontrados. Conclusões importantes como os fatores condicionantes dos resultados de eficiência encontrados, possibilidade de melhora da produtividade do setor ou da empresa analisada caso a eficiência real fosse substituída pela eficiência potencial e a existência de relação de produtividade entre países ou regiões, são pontos a explorar em estudos futuros.

4.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA

Medir e avaliar desempenho têm sido uma atividade há muito tempo realizada nas organizações. Os métodos convencionais para medição de desempenho utilizam tanto informações financeiras como indicadores de produtividade, as quais, geralmente, abordam um único insumo e produto (LIEBERMAN; JOHNSON, 1999).

Farrel (1957) buscou desenvolver uma metodologia diferenciada para avaliação de desempenho, mas esbarrou na dificuldade em especificar teoricamente uma função de produção eficiente. A partir dos trabalhos desse autor, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) aprimoraram o modelo e desenvolveram uma técnica utilizando programação linear, para calcular a eficiência técnica de Farrel através da definição da fronteira eficiente e da projeção das unidades ineficientes sobre essa fronteira. O método consiste, inicialmente, em modelar

múltiplos produtos e insumos em um único produto “virtual” para um único insumo “virtual” e estabelecer um escore de eficiência.

Este modelo ficou conhecido como DEA - *Data Envelopment Analysis* e desde seu surgimento, vem sendo utilizado como alternativa aos métodos tradicionais de avaliação de desempenho organizacional. É uma modelagem matemática que permite medir o desempenho relativo de empresas ou unidades que realizam uma mesma atividade, levando em consideração as quantidades de insumos que uma firma consome para atingir uma quantidade de produtos. Por este processo gera-se uma fronteira de eficiência composta pelas unidades com os melhores resultados que passam a ser os *benchmarks*.

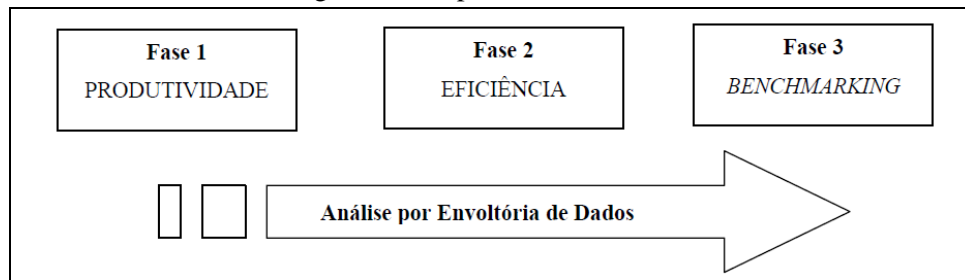
A Análise Envoltória de Dados tem sido usada em diversos estudos por permitir a inclusão de um amplo número de insumos e produtos para avaliação conjunta como também combinar indicadores financeiros e não-financeiros em uma avaliação de eficiência relativa. Para Rouse, Harrison e Chen (2010), enquanto a análise de regressão tem se tornado um método eficiente para pesquisas no mercado financeiro, o DEA tem se destacado em pesquisas de contabilidade gerencial, tanto em empresas privadas como públicas.

O DEA é na realidade um modelo de otimização condicionada, onde se calcula a eficiência a partir de um grupo de unidades produtivas tomadoras de decisões, intituladas DMU (*Decision Making Units*). Estas unidades compõem a amostra de observações no \mathfrak{R}^n , onde as unidades com melhores desempenhos são envelopadas gerando um conjunto estritamente convexo. As empresas que compõem esta superfície passam então a ser denominadas de eficientes e as demais de ineficientes, sendo o grau de ineficiência definido pela distância que a unidade está da borda do envelope. Destaca-se o fato de que o conceito de eficiência para este método é um pouco restrito, pois analisa a eficiência para um determinado conjunto, referente à amostra (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Porém, a condição necessária para que este processo comparativo das eficiências seja efetivo é de que as unidades selecionadas para a análise produzam produtos homogêneos, incluindo o mesmo nível de qualidade, a partir da mesma base de insumos (VERGÉS, 2008). O resultado deste processo é apresentado em um número percentual, que resulta em um indicador que se situa entre 0 e 1, sendo que somente as DMUs eficientes recebem o índice 1. As unidades com índices menores se encontram abaixo da fronteira de eficiência e, conseqüentemente, podem ser comparadas às unidades eficientes (FERREIRA; GOMES, 2009).

Para Almeida, Mariano e Rebelatto (2006), a aplicação do modelo DEA deve compreender três fases, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Etapas do modelo DEA



Fonte: Adaptado de Almeida, Mariano e Rebelatto (2006, p. 64)

A produtividade, fase 1, pode ser designada como a relação entre a quantidade de bens ou serviços gerados (saídas) e a quantidade de recursos consumidos para gerá-los (entradas) num dado período de tempo. Na fase 2, compara-se o que foi produzido, dados os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido realizado com os mesmos recursos. Neste momento tem-se a comparação entre os resultados das unidades, o que possibilita a identificação da produção ou do nível de insumo ideal. Já a fase 3 seria a identificação das DMUs eficientes e das melhores práticas utilizadas, sendo elas os *benchmarks* para as ineficientes (ALMEIDA; MARIANO; REBELATTO, 2006).

O modelo DEA segue uma abordagem não-paramétrica, que tem como vantagem a sua flexibilidade, já que se adapta a sistemas com múltiplos insumos e produtos e impõe menos restrições quanto à tecnologia de produção. Esta característica evita restrições desnecessárias sobre a função de produção, o que poderia afetar a análise e distorcer as estimativas da eficiência (GILLEN; LALL, 1997).

A diferença mais importante entre os modelos paramétricos e não-paramétricos é que esses últimos não utilizam, para suas avaliações, dimensões restritas quanto ao tamanho da amostra. Os dados podem ter baixa ou alta correlação para serem interpretados, e dependendo dessa correlação, o resultado apontará uma interpretação mais concisa dos dados ou não (ALMEIDA; REBELATTO, 2006).

Ao adotar o modelo de análise envoltória de dados para a mensuração do desempenho de unidades é possível:

- considerar diversas dimensões de desempenho operacional em uma única medida e de forma comparativa entre as unidades englobadas no estudo;
- reconhecer as causas dos *gaps* das unidades ineficientes e sugerir melhorias nos fatores a fim de equalizar os desempenhos com as unidades identificadas como mais eficientes;
- quantificar a melhoria necessária para atingir o melhor índice de eficiência

encontrado.

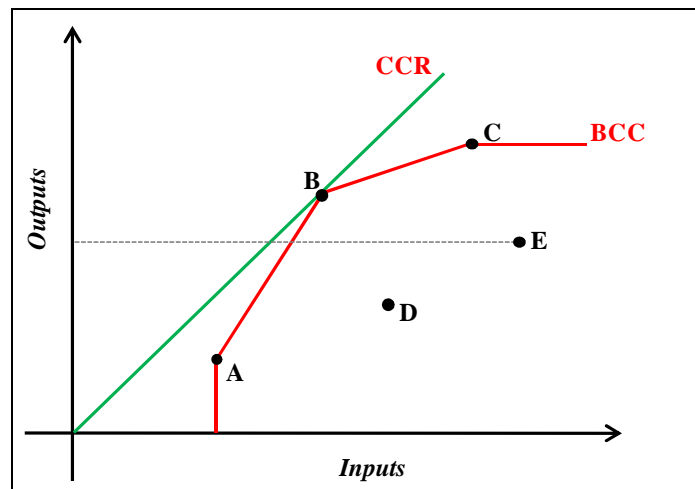
Macedo, Santos e Silva (2004) afirmam que a Análise Envoltória de Dados (DEA), representa uma das mais adequadas ferramentas para avaliar a eficiência, em comparação com ferramentas convencionais. Os resultados são mais detalhados do que os obtidos em outras abordagens, sendo aplicáveis ao embasamento de recomendações de natureza gerencial. Sendo assim, os autores destacam as principais características desta ferramenta: não requer *a priori* uma função de produção explícita; examina a possibilidade de diferentes, mas igualmente eficientes, combinações de *inputs* e *outputs*; localiza a fronteira eficiente dentro de um grupo analisado e as unidades incluídas; e determina, para cada unidade ineficiente, subgrupos de unidades eficientes, os quais formam seu conjunto de referência.

Segundo Fauth (2010), são várias as formulações dos modelos de DEA encontradas na literatura. Entretanto, dois modelos são os mais usados e considerados clássicos, sendo eles o *Constant Returns to Scale* e o *Variable Returns to Scale*. O primeiro modelo é chamado de CCR, devido aos nomes dos seus autores Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e também conhecido como CRS, abreviação de seus nomes. Tal modelo define que uma variação dos insumos impactará numa variação proporcional dos produtos e determina a eficiência técnica pela otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas.

Ainda, segundo Mariano, Almeida e Rebelatto (2006), o modelo CCR desconsidera os ganhos de escala quando calcula a eficiência, assim a eficiência relativa de uma DMU é obtida por meio da divisão entre a sua produtividade e a maior produtividade dentre as DMUs analisadas na observação. Com isso, o formato da fronteira de eficiência do modelo CCR é uma reta com um ângulo de 45°.

O segundo, chamado de BCC (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984) e também conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*), utiliza uma formulação que considera o pressuposto de retornos variáveis de escala. O modelo BCC propõe comparar apenas unidades que operem em escala semelhante. A eficiência relativa de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade dentre as unidades analisadas e que apresentam o mesmo tipo de retorno de escala. Assim, a fronteira BCC apresenta retas de ângulos variados o que caracteriza uma fronteira linear por partes. A Figura 6 apresenta uma comparação entre os dois tipos de fronteira do BCC e do CCR.

Figura 6 – Comparação entre as fronteiras dos modelos BCC e CCR



Fonte: Mariano, Almeida e Rebelatto (2006)

O modelo BCC permite a projeção de cada DMU ineficiente sobre a superfície de fronteira, onde se localizam as mais eficientes. As informações sobre a operação de certa DMU, como a existência ou não de ganhos de escala crescentes ou decrescentes, pode auxiliar na redistribuição de recursos. Se as DMUs sob análise pertencem a uma mesma empresa, os insumos e até mesmo a demanda podem ser redistribuídos para, desta forma, aumentar a produtividade (BADIN, 1997).

Segundo Mariano, Almeida e Rebelatto (2006) existem três tipos de retorno à escala:

- crescente: o aumento na magnitude dos insumos ocasiona um aumento desproporcionalmente maior no número de *outputs*;
- constante: o aumento do número de *inputs* ocasiona um aumento proporcional nos *outputs*, quando uma DMU está operando na sua capacidade ótima;
- decrescente: o aumento do número de *inputs* ocasiona um aumento proporcionalmente menor no número de produtos, se uma DMU está operando acima da sua capacidade ótima. O retorno variável de escala significa que as unidades podem apresentar qualquer um dos três tipos de retorno.

No caso das formulações, além da escolha entre CRS e VRS existe a necessidade de fixação da ótica de análise, orientação *input* ou orientação *output*. Segundo Fauth (2010) a escolha da orientação para *input* ocorre, em muitos casos, onde se tem produtos estabelecidos para se alcançar e, portanto, as “quantidades” de insumos apresentam-se como variáveis de decisão primária. Porém existem outras situações em que se poderia ter uma quantidade fixada de insumos (inalterados) e identificar como aumentar a produção. Neste caso, uma

orientação *output* é mais apropriada, onde o objetivo é maximizar os produtos obtidos sem alterar o nível atual dos inputs.

Para Peña (2008), o modelo DEA tem sido aplicado com sucesso no estudo da eficiência da administração pública, e em organizações sem fins lucrativos, tendo como um dos focos a comparação de serviços prestados pela iniciativa privada e pública. Entretanto, atualmente, diversos autores, tais como Almeida, Mariano e Rebelatto (2006), Emrouznejad, Parker e Tavares (2008), Fauth (2010), Macedo, Santos e Silva (2004) e Paiva Júnior (2000) afirmam que a sua aplicação tem sido ampliada e aplicada em diversos setores para avaliar a eficiência de empresas privadas com atividades similares, para comparar diversos tipos de indústrias, como o estudo de Mahadevan (2002) e, até mesmo, para comparação de eficiência através da análise das demonstrações financeiras, como o trabalho de Kassai (2002) e Ramos (2007).

Enfim, Ferreira e Gomes (2009) consideram que o modelo DEA possui características que beneficiam a sua utilização para a avaliação da eficiência, visto que possibilita:

- a) utilização de diversas variáveis como *inputs* e *outputs* sem que seja necessária sua conversão para uma medida única. Essa característica facilita a análise da eficiência técnica, podendo agregar diversos tipos de fatores de produção, sem a necessidade de utilização de preços, custos, etc.;
- b) determinar ações estratégicas nas empresas, pois possibilita a identificação das DMUs eficientes e, como consequência os *benchmarks* a serem alcançados;
- c) proporcionar à administração o estabelecimento de metas para maximização de resultados, tendo como base os resultados reais provenientes das unidades eficientes.

Em contrapartida, para Lins, Almeida e Bartholo Jr. (2005) e Niederaurer (1998), existem algumas limitações que devem ser levadas em consideração, as quais são: (a) à medida que cresce o número de variáveis, aumenta também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo; (b) numa técnica não paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas; e (c) o DEA apenas analisa o desempenho “relativo”, porque está baseado em dados observados e não no ótimo ou desejável.

Outra limitação de ordem operacional é citada por Badin (1997), que considera que o número de unidades selecionadas para a análise deve ser no mínimo duas vezes maior que o número de insumos e produtos considerados para que o modelo apresente resultados

consistentes. Entretanto, essas limitações não impedem a sua utilização, mas sim o cuidado no momento da interpretação dos resultados, prova disso são os estudos já realizados.

Repassados os conceitos de eficiência e do modelo de Análise Envoltória de Dados e, considerando que este estudo tem por objetivo analisar a eficiência relativa das usinas siderúrgicas da Gerdau, sem que se tenha uma função de produção pré-definida, considera-se o modelo DEA adequado para que o objetivo desta pesquisa seja atingido. Aliado a isso, os diversos estudos já publicados sobre produtividade no setor siderúrgico indicam que o modelo é aplicável para suportar a gestão com informações de desempenho e na identificação de *benchmarks* dentro das suas organizações.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo compõe-se de cinco seções, nas quais são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados, as etapas da pesquisa, os processos de seleção das unidades analisadas, o modelo DEA aplicado e o procedimento de coleta de dados.

5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo é uma pesquisa de caráter descritivo e exploratório que se utiliza dos resultados da aplicação da Análise Envoltória de Dados para descrever a realidade das usinas da empresa Gerdau S.A., quanto à sua eficiência relativa. Sustentando essa classificação, Yin (2001) comenta que a pesquisa descritiva visa relatar as características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Complementando sua classificação geral, a pesquisa é exploratória, a qual tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o objeto de estudo, tentando torná-lo explícito.

Quanto à técnica de pesquisa, o estudo foi desenvolvido sob o formato de estudo de caso, visto que a Gerdau S.A. foi a empresa selecionada para a análise da eficiência relativa de suas unidades siderúrgicas através da aplicação do modelo DEA. A seleção da Gerdau deve-se à sua relevância no mercado nacional e internacional e, também, devido à oportunidade de acesso aos dados necessários para a pesquisa.

Como ocorre nesta pesquisa, o mesmo estudo de caso pode envolver mais de uma unidade de análise. Dentro de um caso único é possível analisar uma ou diversas unidades, que, no entanto, correspondem a um mesmo grupo, com características similares. Em um estudo de caso organizacional, embora exista a possibilidade de tratar de uma das localidades da organização, é possível, também, analisar todas ou parte das unidades ou processos existentes, utilizando-se de uma seleção amostral. Assim, o projeto resultante dessas seleções é denominado estudo de caso incorporado (YIN, 2001).

Quanto ao tratamento sobre o problema de pesquisa, é considerada quantitativa devido à mensuração da eficiência relativa das usinas ser realizada através de dados quantitativos, utilizando-se para isso o *software Frontier Analyst 4.1* para tratamento das variáveis (insumos e produtos) de cada uma das DMUs. O *software EViews 5.0* também foi utilizado como suporte, para análise dos dados, quanto à sua correlação, dispersão, entre outros fatores importantes para entender as características das variáveis utilizadas.

Adotaram-se diferentes fontes de coleta de dados, a fim de manter o rigor da pesquisa e atender ao requisito da triangulação dos dados. A principal fonte advém dos sistemas de informações da Gerdau, dos quais foram extraídos os dados quantitativos, relativos aos *inputs* e *outputs*, necessários para o cálculo da eficiência das usinas, além de outras informações importantes como a capacidade de produção das unidades, o retorno sobre capital empregado, os custos de produção do aço, entre outros. Uma pesquisa documental também foi realizada sobre informações publicadas no *site* da companhia e nas suas Demonstrações Financeiras, para compor o histórico da organização, situação atual, além de identificar dados financeiros relevantes para o estudo.

Adicionalmente, entrevistas semi-estruturadas foram realizadas com o responsável técnico pelo processo industrial das usinas e com um gerente da companhia com experiência nas áreas de Auditoria, Contabilidade e Finanças. As entrevistas foram realizadas nas etapas de construção da base de dados, seleção das variáveis e análise dos resultados. O objetivo principal deste processo foi fundamentar o resultado, obtido através da análise quantitativa, com informações que correspondam à realidade dos processos de produção. Além disso, visa confirmar que as variáveis utilizadas são adequadas às DMUs selecionadas, fazendo com que o modelo apresentado não seja apenas teórico, mas sim discutido e aplicável ao caso do estudo.

5.2 ETAPAS DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a eficiência relativa das usinas *mini-mills* da Gerdau S.A. com a utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA). Para a execução deste objetivo diversas análises foram realizadas, as quais seguem:

- a) definição sobre os objetivos da pesquisa e sobre os fatores-chave para a sua aplicação. Prospecção dos insumos e produtos relevantes da função de produção das usinas *mini-mills* da Gerdau, seleção das unidades que fazem parte da amostra e das fontes de informação utilizadas;
- b) estimar se a função de produção apresenta rendimentos constantes ou decrescentes, a fim de suportar a escolha do modelo DEA utilizado para o cálculo da eficiência relativa;
- c) estimar a função de produção através da Análise Envoltória de Dados, utilizando-se das informações técnicas para cálculo da eficiência interna das usinas;
- d) identificar as usinas *benchmarks* e identificar os fatores internos que influenciam e que

podem justificar os resultados encontrados, nos anos de 2009 e 2010;

- e) analisar o impacto dos preços relativos aos fatores de produção sobre a escala de eficiência técnica obtida e verificar se os resultados se mantêm ou há alterações.

A definição das etapas desta pesquisa foi suportada pela metodologia proposta por Emrouznejad e Witte (2010), os quais definiram um *framework* para a aplicação de projetos com a utilização do modelo de Análise Envoltória de Dados, a fim de prover um padrão para o processo de análise, estruturar as fases do projeto e fornecer os principais tópicos para cada fase. As etapas definidas para este estudo podem ser visualizadas através da Figura 7.

Figura 7 – Etapas para análise da eficiência interna das usinas da Gerdau

Etapas	Procedimentos
Base de Dados	Sistemas de Informações Sistemas gerenciais com indicadores de desempenho Reuniões com os entrevistados
Seleção das Variáveis	Estudos já realizados em siderurgias Entrevista com responsável pelo processo Industrial
Análise das Variáveis	Análise das variáveis selecionadas Tratamento dos dados Análises Gráficas Análises de retornos de escala
Construção do modelo	<i>Inputs e Outputs</i> Orientação Retornos
Processamento	<i>Software Frontier Analyst</i>
Análise dos Resultados	Eficiência técnica Análise das alterações utilizando os preços relativos Entrevista com os responsáveis selecionados para validação dos dados.
<i>Benchmarks</i>	DMUs eficientes e ineficientes Melhorias propostas

Fonte: Adaptado de Emrouznejad e Witte (2010)

Para Emrouznejad e Witte (2010), o ciclo de uma pesquisa é contínuo, ou seja, há um processo cíclico para avaliação da eficiência. A cada mensuração e análise dos resultados existe um processo de revisão com a inclusão e/ou exclusão de variáveis, a fim de alinhar os resultados encontrados à realidade de cada uma das DMUs. Entretanto, nesta pesquisa o objetivo é analisar a eficiência relativa das usinas até a apresentação dos resultados, após esta etapa a empresa poderá implantar o modelo DEA e transformá-lo em parte do seu processo de avaliação contínua, se considerar adequado.

5.3 UNIDADES SELECIONADAS E PERÍODO DE ANÁLISE

A seleção das unidades analisadas nesse estudo de caso foi definida com base em critérios, os quais priorizam a identificação de DMUs semelhantes em seus processos produtivos, atividades, insumos e produtos finais. Assim, partindo dos critérios estabelecidos, foram realizadas as seguintes seleções partindo da totalidade de usinas da Gerdau:

- selecionadas as usinas que seguem a rota tecnológica semi-integrada, devido à relevância destas para a empresa. Atualmente, representam 75% do total do aço bruto produzido e correspondem a 39 instalações, localizadas na América do Sul, América do Norte e Europa;
- excluídas onze usinas produtoras de aços especiais, permanecendo àquelas produtoras de aços longos (28 unidades);
- excluídas outras quatro por falta de dados para todos os insumos e produtos selecionados ou por terem sido adquiridas há menos de 3 anos.

Desta forma, após a aplicação dos critérios, os resultados da análise são baseados nos dados de 24 usinas *mini-mills* da Gerdau S.A., todas localizadas na América do Sul e América do Norte, em seis países diferentes. Com as exclusões realizadas na totalidade de unidades siderúrgicas, a pesquisa se dará sobre, aproximadamente, 56% da capacidade total de produção de aço bruto da empresa.

As usinas analisadas serão identificadas de acordo com a sua localização, conforme as legendas descritas da Tabela 5, e seguidas de uma numeração sequencial. Como, por exemplo, as unidades localizadas no Brasil serão denominadas de BR1, BR2, até a BR7, e da mesma forma para os demais países. Já as usinas que compõem a amostra localizada na América Latina, exceto Brasil, não serão identificadas por país, pois isso permitiria a identificação das

unidades produtoras. Assim, é mantido o sigilo sobre as unidades estudadas, mas, ao mesmo tempo, possibilita identificar sua localização geográfica.

Tabela 5 – Unidades selecionadas

Localização	Legenda	Quantidade de Usinas	Capacidade instalada de aço bruto (1.000 ton)
Brasil	BR	7	3.690
Canadá	CA	3	1.660
América Latina	AL	3	490
Estados Unidos	EUA	11	7.730
Total		24	14.170

Fonte: Elaboração própria.

A seleção realizada, a qual exclui as unidades integradas e as unidades não-integradas produtoras de aços especiais, deve-se ao fato de que, segundo Vergés (2008), a análise de eficiência tem como pré-requisito unidades homogêneas em atividades, produtos e qualidade, a fim de que o resultado do estudo seja coerente, sem interferências relacionadas às diferenças dos processos de produção. Ray e Kim, H. (1995) também contribuem para embasar a seleção da amostra. A conclusão do seu estudo sobre a eficiência em indústrias siderúrgicas americanas demonstra que as diferenças tecnológicas entre as usinas integradas e *mini-mills* são significativas e que estas influenciaram negativamente as análises de produtividade das DMUs selecionadas. Além disso, prejudica a comparação daquelas identificadas como *benchmarks* com as demais, uma vez que compara unidades com processos produtivos e insumos diferentes.

Por fim, os *inputs* e *outputs* (variáveis internas) utilizados para análise da eficiência das usinas selecionadas restringiram-se aos anos de 2009 e 2010, os quais foram definidos principalmente em função das informações obtidas junto à Gerdau. No entanto, devido à crise mundial ocorrida nos anos de 2008 e 2009 e a sua influência nos resultados dos respectivos anos, determinadas análises serão realizadas somente sobre os dados de 2010. Embora isso traga limitações, como a impossibilidade de analisar a evolução temporal no índice de eficiência, não invalida o objetivo principal desta pesquisa que é identificar as usinas *benchmark* e os fatores internos que influenciam os diferentes níveis de produtividade entre elas.

5.4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

O *software* a ser utilizado para a determinação da eficiência relativa das usinas siderúrgicas *mini-mills* será o *Frontier Analyst* versão 4.1.0, desenvolvido pelo fabricante Banxia Software Ltda., uma empresa escocesa. O sistema possui capacidade para avaliação de até 250 unidades e 32 variáveis de *inputs* e *outputs*.

A definição do modelo DEA a ser utilizado, Retornos Constantes de Escala (CRS) ou Retornos Variáveis de Escala (VRS), ocorreu durante a etapa de análise dos dados, e está detalhado na seção 6.2, a partir da comparação entre os principais insumos *versus* principais produtos. Esta análise é que identifica a relação entre eles e pode confirmar a existência ou não de ganhos de escala.

O modelo utilizado foi de maximização da produção, visto que se busca maximizar os produtos mantendo o nível dos insumos utilizados. Atualmente, com o aumento da demanda por aço, o interesse das usinas é maximizar os produtos e manter o consumo de *inputs*, reduzir os custos de produção e melhorar o aproveitamento da capacidade instalada.

Assim, o modelo a ser utilizado será:

$$MaxP = \sum_i^n \mu_i Y_{ij} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$IZ = 1$$

$$\sum_i^n \mu_i Y_{ij} - IZ \leq 0$$

$$\mu_i \geq 0 \forall i; z \geq 0 \forall z \in Z$$

Este modelo é otimizado *j* vezes para identificar os escores de eficiência relativa de todas as DMUs, que pode ser estabelecida de acordo com:

$$Ef_{rel j} = \frac{\sum_i^n \mu_i Y_{ij}}{\sum_i^m \varphi_i I} \quad (3)$$

Onde:

Y_{ij} = produtos *i* da DMU *J* com $i \in I:[1,2]$ e $j \in I:[1,24]$

$\varphi_i X_i$ = quantidade de insumo *i* utilizada pela DMU *J* com $i \in I:[1,7]$

I = matriz de insumos

Z = um vetor coluna contendo os pesos dos insumos

A descrição das variáveis selecionadas, produtos (Y_i) e os insumos (X_i), seguem no Quadro 4.

Quadro 4 - Variáveis de *Inputs* e *Outputs* das Usinas da Gerdau

Variáveis		Descrição
Inputs	1	Número de Funcionários (<i>Func</i>) Representa a quantidade de funcionários empregados pela usina, sendo eles funcionários diretos ou contratados de terceiros. Corresponde à média anual de funcionários na usina.
	2	Ativo Operacional (<i>AtOper</i>) Representa os ativos utilizados na operação do negócio, composto pelo imobilizado e capital de giro. Indica o total do ativo da usina ao final dos anos analisados.
	3	Metálicos (<i>Met</i>) Quantidade anual de sucata e ferro-gusa utilizada no processo de produção, em toneladas.
	4	Ferros-liga (<i>FerLig</i>) Quantidade anual de ferro-liga, em toneladas, utilizada no processo de produção.
	5	Energia Elétrica (<i>Ener</i>) Volume anual de energia utilizado na produção em KWh.
	6	Acidentes de trabalho (<i>AcTrab</i>) Número de acidentes de trabalho ocorridos em cada período. Considerado como um <i>input</i> que deveria ter seu resultado quanto menor melhor, para efeitos de eficiência.
	7	<i>Power-off</i> (<i>Pow</i>) É o tempo em que o forno elétrico permanece desligado por cada corrida de aço realizada. Neste indicador também é considerado o tempo de desligamento por parada de manutenção (Corrida é todo o processo envolvido para suprir os fornos de aciaria para transformação da matéria-prima em aço).
	8	Despesas com mão-de-obra (<i>DesAdm</i>) Indica a estrutura de funcionários das usinas. Inclui o montante das despesas com folha de pagamento, treinamentos e outras despesas relacionadas aos benefícios necessários para os funcionários.
	9	Custo do Aço (<i>CstAço</i>) Indica o montante gasto em matéria-prima e demais custos de produção/manutenção para a produção do aço bruto.
Outputs	10	Quantidade produzida (<i>QtdProd</i>) É a quantidade produzida de aço bruto pela usina em toneladas.
	11	Quantidade sucateada (<i>QtdSuc</i>) É a quantidade de aço produzido fora dos padrões de qualidade e que precisa ser sucateado e voltar ao processo de produção, em quilograma.
	12	Resultado Operacional (<i>ResOper</i>) Lucro antes dos juros e imposto de renda (considera apenas os resultados da usina, excluindo as despesas comerciais e de administração).

Fonte: Elaboração própria.

Os insumos Número de Funcionários, Ativo Operacional, Metálicos, Ferros-Liga, Energia Elétrica, Acidentes de Trabalho e *Power-off* fazem parte da mensuração da eficiência técnica das usinas *mini-mills* da Gerdau S.A. selecionadas na amostra. Os demais insumos, Despesas com Mão-de-obra e Custo do Aço, fazem parte de uma segunda etapa de análise desta pesquisa, a qual pretende identificar o impacto dos preços relativos dos insumos sobre a eficiência técnica das usinas. Nesta segunda fase, o montante de Despesas com mão-de-obra

substitui o *input* Número de Funcionários, e o Custo do Aço o montante correspondente às demais variáveis de insumo.

Adicionalmente, o produto Resultado Operacional substitui os produtos Quantidade de Aço Produzido e Quantidade de Sucata, o qual é empregado no momento da análise de impacto dos preços sob a eficiência técnica.

Tem-se então, conforme variáveis definidas no Quadro 4, a função de produção que demonstra a quantidade máxima de produção de aço que uma unidade consegue obter a partir da combinação dos seus insumos, a qual segue:

$$Q = f (Func, AtOper, Met, FerLig, Ener, AcTrab, Pow) \quad (4)$$

Onde:

- $Q = f (Func, AtOper, Met, FerLig, Ener, AcTrab, Pow)$ é a função de produção das usinas *mini-mills* e que representa a quantidade anual de produção de aço bruto e a quantidade de aço sucateado;
- *Func* representa o número médio anual de funcionários na usina;
- *AtOper* representa o valor em dólares do ativo de cada usina;
- *Met* é o montante em toneladas de ferro-gusa e sucata utilizados na produção anual;
- *FerLig* representa o montante em toneladas de ferros-liga utilizados na produção anual;
- *Ener* é o volume de energia utilizado como matéria-prima anualmente;
- *AcTrab* é o número de acidentes que ocorreram durante o ano nas usinas; e
- *Pow* representa o tempo total gasto no processo de desligamento do forno de aciaria, durante uma corrida de aço, para o suprimento das matérias-primas.

A função de produção será estimada através de dados anuais referente a 2009 e 2010, separadamente.

Nesta pesquisa, não foi selecionada variável do processo produtivo relacionada à tecnologia ou uma *proxy*, visto que as usinas analisadas possuem tecnologias similares de produção. Assim, possíveis diferenças entre os resultados de eficiência podem ser explicadas por diferenças na atualização tecnológica, uma vez que investimentos adicionais ou renovação do parque industrial podem trazer melhorias nos resultados das unidades.

Entretanto, apesar de não haver uma variável que diferencie as unidades em termos tecnológicos, o ativo operacional representa o montante investido em máquinas, instalações e

capital de giro e, de certa forma, possibilita a identificação daquelas com maior investimento neste requisito.

Os produtos (Y_i) e os insumos (X_i) foram selecionados tendo por base a teoria da função de produção e outros estudos empíricos realizados sobre o tema de eficiência. Adicionalmente, a seleção das variáveis foi confirmada pelo responsável técnico do processo Industrial das usinas, como insumos aplicáveis e relevantes no processo produtivo das usinas incluídas neste estudo.

Estas variáveis podem ser observadas no Quadro 5 onde se explicita a relação com a função de produção e os autores que as utilizaram em seus estudos aplicados com o DEA.

Quadro 5 – Base para seleção dos insumos

Proposição da Função de Produção	Insumos utilizados no estudo	Aplicação empírica
Trabalho (L)	Número de Funcionários	Segundo Farrel (1957), por muito tempo a medida de eficiência utilizada pelas empresas era uma média de produtividade da força de trabalho. Entretanto, apesar do reconhecimento sobre a sua fraqueza quando utilizada como único <i>input</i> de um processo produtivo, é uma variável utilizada em grande parte dos estudos analisados, sendo eles: Mariano (2010), Ramos (2007), Perentelli (2007), Minato (2006), Kim, J. et al. (2006), Braglia, Zanoni e Zavanella (2003), Mahadevan (2002), Ray, Seiford e Zhu (1998), Ray e Kim, H. (1995).
Capital (K)	Ativos Operacionais	Por ser intensiva em capital, a indústria siderúrgica é caracterizada por grandes investimentos em ativos destinados a projetos de longo prazo de maturação, que implicam elevado aporte de recursos. Este insumo foi selecionado devido a sua relevância, assim como considerado por outros autores, sendo eles: Braglia, Zanoni e Zavanella (2003), Ray, Seiford e Zhu (1998), Ray e Kim, H. (1995).
	Despesas com mão-de-obra	Além de representar a estrutura administrativa de cada usina analisada, inclui também o valor investido em salários e treinamento. Outros autores também analisaram esta variável como um <i>input</i> dos seus processos produtivos: Fauth (2010) e Braglia, Zanoni e Zavanella (2003).
Demais itens não diretamente relacionados às variáveis (L) e (K)	Metálicos, Ferros-liga e Custos de Produção	Os insumos de metálicos (ferro-gusa e sucata) e ferros-liga são fatores essenciais do processo de produção de aço, entretanto, devido à dificuldade na obtenção destes dados apenas dois estudos foram identificados utilizando-se destas informações. Braglia, Zanoni e Zavanella (2003) incluíram em seus estudos como fatores de produção (em toneladas), enquanto Kim, J. et al. (2006) utilizou o custo destes fatores de produção.
	Energia Elétrica	A energia elétrica tem apresentado cada vez mais relevância nos estudos relacionados à produtividade, não só no setor siderúrgico. São alguns deles: Ray e Kim, H. (1995), Yonus e Hawdon (1997), Boyd e Pang (2000), Wei, Liao e Fan (2007).
	Acidentes de trabalho	A questão da segurança tem fundamental importância no processo produtivo da Gerdau. Neste contexto, esta variável foi incluída na análise a fim de refletir as prioridades da gestão neste estudo. Não foram encontradas outras pesquisas empíricas semelhantes que utilizassem esta variável como insumo do processo produtivo.
	<i>Power-off</i>	Os estudos de Kim, J. et al. (2006), Braglia, Zanoni e Zavanella (2003) e Ray e Kim, H. (1995) trabalharam com as informações de disponibilidade dos equipamentos como um fator importante de <i>input</i> , uma vez que quanto menor a parada dos equipamentos maior a produção realizada.

Fonte: Elaboração própria

É importante salientar, que na etapa de análise dos resultados, as variáveis foram testadas quanto à sua aplicabilidade na mensuração da eficiência das usinas. E durante essa análise, é que foram analisadas e confirmadas as necessidades de exclusão ou alteração das variáveis de *inputs* e *outputs*, tendo como objetivo evitar a perda de comparabilidade entre as usinas.

5.5 PROCEDIMENTO DE COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Esta pesquisa foi realizada a partir de variáveis internas, que se constituem dos *inputs* e *outputs* utilizados na análise de eficiência relativa das usinas, as quais foram fornecidas pela Gerdau. Dessa forma, em virtude da solicitação de sigilo por parte da empresa, os seus valores não serão explicitados no decorrer desse estudo. Durante a análise os escores serão apresentados em termos percentuais.

Para a coleta de dados a principal fonte de informação da pesquisa, foram os sistemas de informações gerenciais, além da relação de indicadores utilizados atualmente pela gestão. Como fontes secundárias de informações, foram realizadas pesquisas documentais apoiadas nas Demonstrações Financeiras e nos documentos que embasam o histórico da organização, suas aquisições, evolução, etc.

Adicionalmente, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com um dos responsáveis pela gestão do processo Industrial, além de um gerente com experiência nas áreas de contabilidade, auditoria e finanças. Utilizou-se de um roteiro com perguntas abertas, a fim de permitir flexibilidade nas respostas e discussão sobre os pontos a serem validados. De acordo com Lakatos e Marconi (1999), este tipo de entrevista é uma técnica que possui um roteiro previamente estabelecido e, caso haja necessidade durante o desenvolvimento, tem a liberdade de incluir novas questões para atingir o objetivo.

Em um primeiro momento, as entrevistas tiveram como foco o entendimento sobre o processo de produção, conhecimento sobre peculiaridades que possam existir entre as usinas selecionadas, consenso sobre o objetivo da pesquisa e, principalmente, validação das variáveis (*inputs* e *outputs*) selecionadas através de outros estudos. Esta etapa de confirmação das variáveis assegurou que a pesquisa possa aplicada não só na academia, mas também empiricamente, no processo de gestão organizacional.

Já na etapa de avaliação dos resultados, as entrevistas focaram a validação dos escores de eficiência e na obtenção de argumentos para embasar o resultado. Os fatores internos que geraram essas variações de produtividade também foram identificados e discutidos nesta etapa.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O capítulo de análise dos resultados compreende a análise descritiva das variáveis, definições sobre o modelo DEA, avaliações dos *inputs* e *outputs* e, por fim, cálculo da eficiência técnica e do impacto dos preços relativos na eficiência das usinas *mini-mills* da Gerdau S.A..

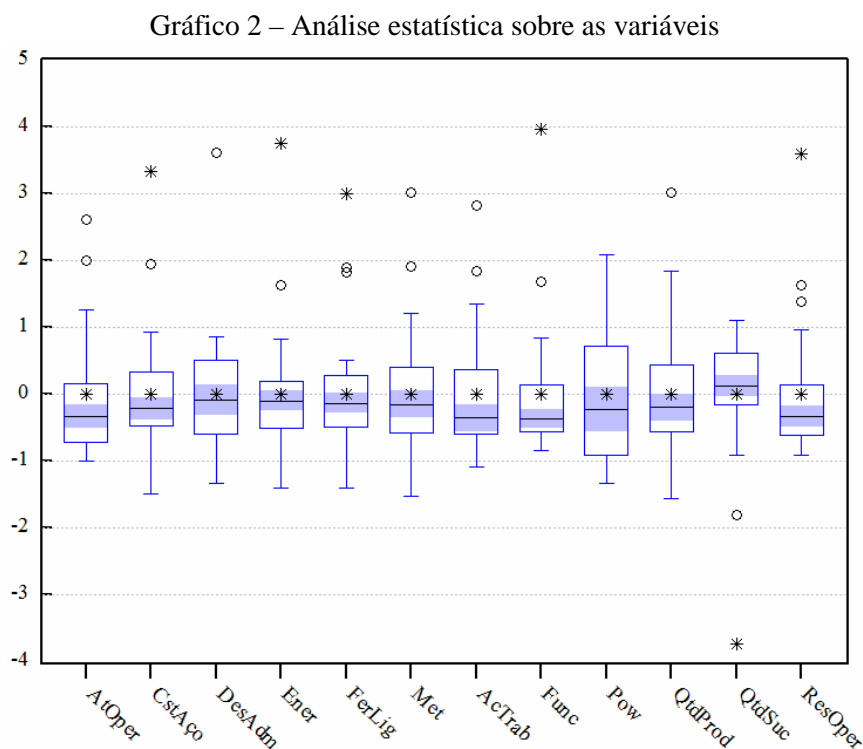
6.1 ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS SELECIONADAS

Nesta seção serão apresentados os procedimentos de análise dos dados selecionados antes da sua inclusão no *software* para mensuração da eficiência.

6.1.1 Análise dos dados

Para realização da análise descritiva dos dados, referente às variáveis de insumos e produtos, foi utilizado o gráfico *boxplot* com o objetivo de demonstrar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência de *outliers*.

O Gráfico 2 contém os *inputs* e *outputs* utilizados na mensuração da eficiência técnica e econômica para o ano de 2010. A fim de preservar as informações estratégicas da Gerdau, os dados foram normalizados.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau
Nota: os dados estão normalizados para preservar as informações da empresa.

De maneira geral, verifica-se no Gráfico 2 que todas as variáveis, exceto o *Power-off*, possuem *outliers* para valores elevados, ou seja, existem usinas com níveis de insumos e produção os quais são significativamente superior ao conjunto de observações.

Através das análises dos resultados desses *outliers*, identificam-se duas usinas que possuem capacidade acima de 800mil toneladas e são as duas maiores unidades selecionadas para este estudo. Representam os maiores valores da variável de quantidade de produção e também, coerentemente, os maiores valores de grande parte dos demais insumos. Apenas o *outlier* relacionado ao número de acidentes não está associado à usina com os maiores resultados de produção. Neste caso, esta usina (AL23) tem seu resultado de eficiência influenciado por este *input* desproporcional ao seu *output*, o que é confirmado posteriormente pela sua classificação como ineficiente.

Já na análise das variáveis utilizadas para mensuração da eficiência econômica, identifica-se que o *outlier* de ativo operacional (AtOper) está relacionado à usina com maior produto (ResOper). Entretanto, os valores elevados de despesas com mão-de-obra (DesAdm) e do custo do aço (CstAço) não pertencem às unidades mais rentáveis. Sendo, neste caso duas usinas (EUA17 e EUA18) confirmadas como ineficientes economicamente.

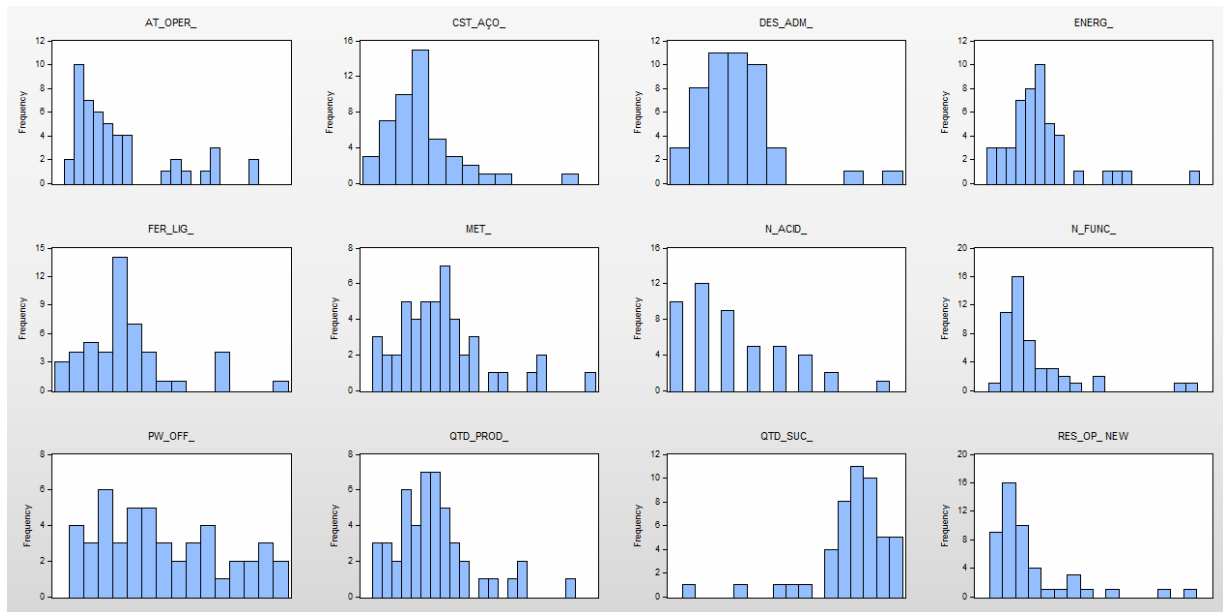
Ademais, conclui-se que a existência de *outliers* nas observações ocasiona impacto na eficiência média, podendo gerar distorções na fronteira de eficiência. Neste modelo, por serem, na maioria, observações associadas às maiores usinas, essas não serão eliminadas da série de dados para o cálculo dos escores de eficiência.

A variável de *Power-off* possui a maior diferença entre os quartis inferior e superior da caixa entre todas as variáveis utilizadas. Entretanto, não existem *outliers* para essa série de dados o que demonstra que, apesar de existirem usinas com resultados altos em variáveis relacionadas, como a quantidade produzida, a capacidade de gestão das paradas dos fornos varia dentro de um limite, não havendo grandes disparidades.

A variável QtdSuc é a única que contém dados onde a média está abaixo da mediana. Este comportamento se deve ao fato de suas observações possuírem valores negativos. Esses dados representam a produção de aço que é sucateada após o encerramento do processo de produção, por problemas de qualidade, reduzindo assim a quantidade de aço produzida. Os casos extremos de produção de sucata são caracterizados por serem extremos, também, na produção de aço, mas não mesma proporção.

Como os valores das médias são superiores aos das medianas, então suas distribuições deverão ser assimétricas à direita, exceto pela variável QtdSuc que é o inverso. Para avaliar a distribuição de frequência destas variáveis construiu-se o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Distribuição das variáveis



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: O valor do eixo foi excluído para preservar as informações da empresa.

Os gráficos de distribuição normal demonstram informações adicionais sobre o gráfico de *bloxpot*, como a existência de assimetria à direita. Adicionalmente, identifica-se uma dispersão muito próxima entre *Qtd_Prod* e *Met*, o que é corroborado através da análise de correlação, descrita na seção 6.1.2. Já o Ferro-liga (*Fer_Lig*) embora com alta correlação como a *Qtd_Prod* apresenta uma redução de frequência na calda inferior. Pode-se afirmar que praticamente todas as variáveis possuem distribuição normal se forem excluídas as unidades *outliers*, exceto *Power-off* (*Pw_off*), que é platicúrtica.

A *Qtd_Suc*, por ter uma série de dados negativos deve ser interpretada com cuidado. As poucas unidades com valores menores, ou seja, mais sucata gerada, são usinas com grandes capacidades de produção. A concentração de observações ocorre em valores medianos, mas reduzindo para valores maiores (menos sucata produzida). As oito observações que representam as menores quantidades de sucata pertencem às usinas menores, as quais, inclusive, são identificadas como eficientes tecnicamente na seção 6.4.

O Ativo Operacional (*At_oper*) possui uma divisão clara em dois grupos, um que representa altos valores e outro para valores baixos. Interessante comentar que essa mesma divisão não ocorre tão claramente com os demais insumos, uma vez que usinas com ativos maiores deveriam consumir mais. Entretanto, a explicação pode ser associada ao fato de que nem todas as usinas utilizam toda a sua capacidade de produção, representada neste trabalho pela variável de ativo. Sendo assim, apesar de existirem grupos com *outliers* em relação ao

ativo, é possível afirmar que não estão utilizando de toda a sua força de produção não exigindo assim o consumo dos demais insumos na mesma proporção do ativo.

Além disso, é importante salientar que a variável de ativo operacional corresponde ao montante (em dólares) de imobilizado e capital de giro de cada usina. Assim, usinas que possuem um parque mais depreciado não necessariamente são menores em termos de capacidade de produção, assim como usinas mais novas e que possuem um ativo operacional maior não necessariamente possuem uma instalação maior.

No entanto, pode-se concluir que, de maneira geral, os dados são harmônicos, sobressaindo os dados das usinas com capacidades maiores, as quais foram representadas pelos *outliers* no gráfico de *boxplot*. Essas análises sobre o comportamento dos dados de cada insumo e produto são importantes para o entendimento das diferenças entre os escores de eficiência, que serão tratados nas seções 6.4 e 6.5.

6.1.2 Análise do coeficiente de correlação

Foi realizada a análise de correlação existente entre os insumos e produtos selecionados neste estudo. Este procedimento foi realizado, também, nos estudos de Braglia, Zanoni e Zavanella (2003) e Perentelli (2007), onde os insumos fortemente correlacionados com o produto foram excluídos da análise de eficiência. Segundo os autores, a inclusão de variáveis com alta correlação reduz o poder discriminatório do modelo DEA, impactando na perda de informação quando da análise comparativa entre as unidades.

A análise de correlação foi realizada sobre os dados de 2010 e 2009; entretanto, devido à similaridade dos resultados, são apresentados nesta seção somente os resultados referentes ao ano de 2010. No Tabela 6 estão demonstrados os índices de correlação entre as variáveis utilizadas na mensuração da eficiência técnica.

Tabela 6 – Correlação das variáveis utilizadas na mensuração da eficiência técnica

Variáveis	AtOper	Ener	Fer_Lig	Met	AcTrab	Func	Pow	QtdProd	QtdSuc
AtOper	1,000	0,702	0,665	0,654	0,173	0,701	(0,009)	0,642	(0,455)
Ener	0,702	1,000	0,946	0,941	0,218	0,505	0,071	0,940	(0,851)
Fer_Lig	0,665	0,946	1,000	0,950	0,140	0,476	0,107	0,949	(0,839)
Met	0,654	0,941	0,950	1,000	0,221	0,494	0,073	0,999	(0,56)
AcTrab	0,173	0,218	0,140	0,221	1,000	0,122	(0,100)	0,206	(0,195)
Func	0,701	0,505	0,476	0,494	0,122	1,000	(0,222)	0,483	(0,204)
Pow	(0,009)	0,071	0,107	0,073	(0,100)	(0,222)	1,000	0,075	(0,440)
QtdProd	0,642	0,940	0,949	0,999	0,206	0,483	0,075	1,000	(0,860)
QtdSuc	(0,455)	(0,851)	(0,839)	(0,856)	(0,195)	(0,204)	(0,440)	(0,860)	1,000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

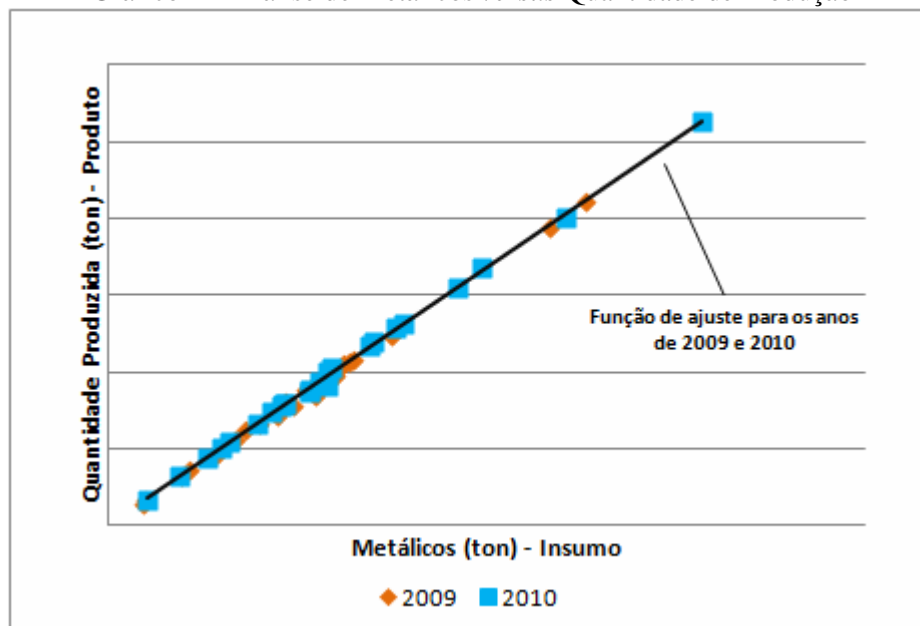
Observa-se que o insumo Metálicos, correspondente ao volume de sucata e ferro-gusa utilizados na produção, apresenta uma forte correlação com a quantidade de aço produzido, conforme apresentado no Tabela 6. Este fato indica uma relação fixa entre estas variáveis, ou seja, a existência de uma variável onde não há poder de decisão ou controle por parte das DMUs sobre os volumes deste insumo. A inclusão desta variável poderia levar a um cálculo de otimização onde praticamente todas as DMUs são eficientes.

Para conferir a hipótese de que a utilização de uma variável de alta correlação influencia nos resultados de eficiência, foram calculados os escores de eficiência através do *software Frontier Analyst* para as 24 usinas, através de um modelo simplificado de variáveis, com os insumos Número de Funcionários, Ativo Operacional e Metálicos; e com o produto Quantidade de Aço Produzido. O resultado obtido, como era esperado, apresentou 10 usinas eficientes e as outras 14 com índices entre 92% e 99%.

Ao realizar a mesma mensuração da eficiência, mas excluindo a variável Metálicos, observa-se grande variação nos resultados, obtendo-se 6 usinas eficientes e as demais distribuídas entre os níveis de 20% a 99%.

A variabilidade do nível de eficiência entre as usinas, ao incluir a variável Metálicos, é mínima e decorre da pouca oscilação entre a relação dos metálicos e quantidade produzida, dado que esta não é uma relação linear perfeita. O Gráfico 4 demonstra a relação entre as duas variáveis.

Gráfico 4 - Análise de Metálicos *versus* Quantidade de Produção



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

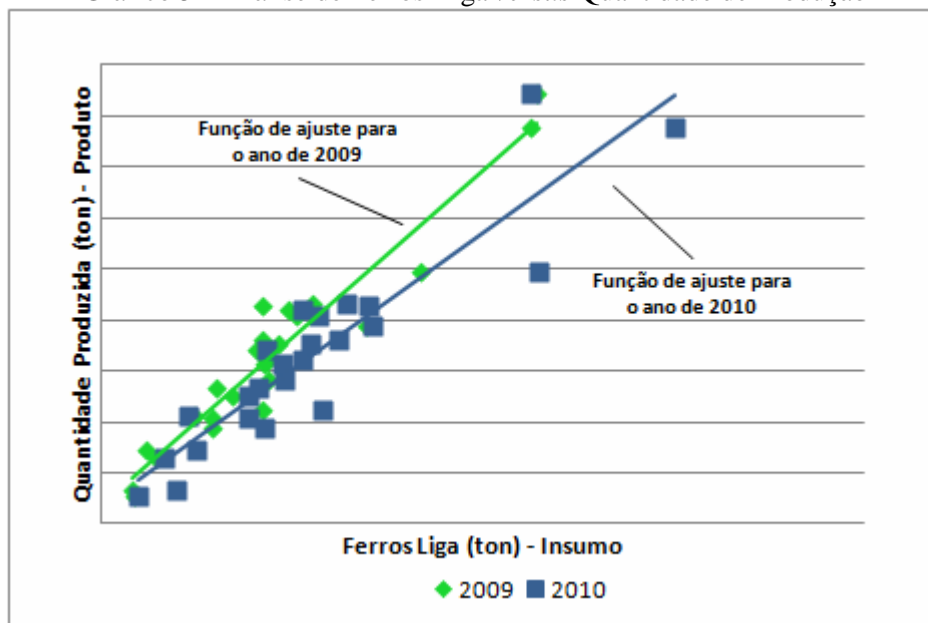
Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Comparando os resultados obtidos é possível verificar que a variável exerce uma influência determinante nos níveis de eficiência, conforme previsto, devido a sua importância no processo, sendo esta a principal matéria-prima para produção de aço em usinas *mini-mills*. Assim, devido a esses fatores e, aliada à perda de comparabilidade entre as unidades, caso se utilize do insumo em questão, decidiu-se pela exclusão da variável Metálicos da análise da eficiência técnica.

Prosseguindo com as análises referentes ao Quadro 5, verifica-se que a variável de Ferros-Liga também apresenta um coeficiente de correlação alto (0,949). Entretanto, ao observar a relação deste insumo com a Quantidade Produzida, observa-se que não existe o mesmo comportamento que o demonstrado com a variável de Metálicos. Há uma variação maior entre unidades com o mesmo nível de produção.

Para confirmar a hipótese de que a utilização do *input* Ferro-Liga reduz o poder discriminatório do DEA, foram calculados os escores de eficiência através do *software Frontier Analyst* para as usinas selecionadas, através de um modelo simplificado de variáveis, com os insumos Número de Funcionários, Ativo Operacional e Ferro-Liga; e o produto Quantidade de Aço Produzido. O resultado obtido não apresentou distorções nos escores, como apresentado anteriormente para a variável de Metálicos, gerando resultados de eficiência distribuídos entre os 100% e os 40%.

Gráfico 5 - Análise de Ferros-Liga *versus* Quantidade de Produção



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Como observado na seção 2.2 referente ao processo produtivo, as usinas que produzem aços longos podem variar a utilização dos Ferros-Liga de acordo com o produto final que irão produzir. Essa variação no mix de produtos de cada usina, e o consequente aumento ou redução do volume desta matéria-prima utilizada na produção, pode explicar o motivo pelo qual algumas unidades a utilizam em quantidades diferentes. A sazonalidade de produção dos produtos agropecuários e de construção civil são fatores que levam à utilização variável dos Ferros-Liga.

A fim de esclarecer se a variação do insumo entre as usinas da Gerdau ocorre devido a diferenças no mix de produção de cada usina ou devido à sua eficiência, foi realizada uma entrevista com o engenheiro responsável pelo processo Industrial da Gerdau. Verificou-se que, apesar de existirem diferenças nos produtos de cada usina, a produção do período de um ano não apresenta diferenças relevantes entre as DMUs. Assim, conclui-se que a variável de Ferro-Liga não será excluída das análises, que as variações na sua utilização são resultados da eficiência na produção e que os *benchmarks* sugeridos pelo *software Frontier Analyst* podem ser aplicados na realidade das unidades.

Outros insumos e produtos apresentaram índices de correlação altos, entretanto, não serão excluídos da análise de eficiência técnica devido a sua importância no processo e ao fato de que sua inclusão não gerou perda de comparabilidade entre as usinas. Segundo Braglia, Zanoni e Zavanella (2003) é preciso ter cuidado ao suprimir variáveis baseado apenas em índices de correlação e, por este motivo, neste estudo, a correlação foi apenas uma das informações que deram suporte à este processo.

Complementando a análise de correlação, na Tabela 7 estão demonstrados os índices entre as variáveis utilizadas na mensuração da eficiência econômica. Como se pode observar os *inputs* e *outputs* não apresentam coeficientes altos de correlação, mantendo-se assim todas as variáveis na análise.

Tabela 7 – Correlação das variáveis utilizadas na mensuração da eficiência econômica

Variáveis	DesAdm	CstAço	AtOper	ResOper
DesAdm	1,000	0,763	0,463	(0,132)
CstAço	0,763	1,000	0,759	0,417
AtOper	0,463	0,759	1,000	0,570
ResOper	(0,132)	0,417	0,570	1,000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Concluindo, a variável Metálicos não é considerada no cálculo da eficiência das usinas da Gerdau S.A. devido a sua forte correlação com o produto Quantidade Produzida. Já o insumo Ferros-Liga, apesar de apresentar correlação com este mesmo produto, possui características distintas e sua variação pode influenciar na determinação da eficiência das DMUs. As variáveis utilizadas na análise da eficiência econômica não serão alteradas.

6.2 ANÁLISE DAS RELAÇÕES DOS INSUMOS E PRODUTOS

A produção de aço nas usinas *mini-mills* avaliadas apresentou rendimentos decrescentes, isto é, um aumento no volume de *inputs* gera um aumento proporcionalmente menor nos *outputs*, quando uma DMU está operando acima de sua capacidade ótima. Esta conclusão foi obtida a partir da avaliação da relação do produto com os principais insumos da função de produção destas usinas, como pode ser observado nos Gráficos 6 e 7. As principais variáveis selecionadas para confirmação dos rendimentos são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Variáveis selecionadas para definição do modelo DEA

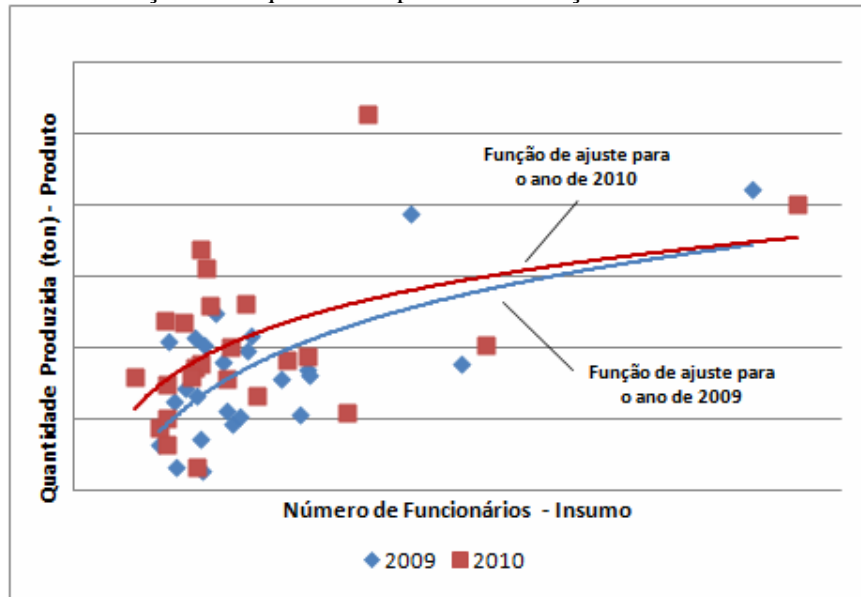
Variável	Variável Selecionada	Função de Produção
Insumos	Número de Funcionários	Trabalho (L)
	Ativo Operacional	Capital (K)
Produto	Quantidade de Aço Produzido	Quantidade Máxima de Produção (Q)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Observa-se que a função que melhor se ajusta aos dados é uma linha de tendência logarítmica. Assim, afirma-se que a relação entre a Quantidade de Aço Produzido e o Número de Funcionários apresenta rendimentos decrescentes. Isso é coerente com a teoria da função de produção em que as empresas operariam somente no estágio em que houvesse rendimentos decrescentes, isto é, onde produto marginal (PMg) é menor que o médio (PMe), porém positivo, denominado de estágio II. A razão disso é que se a produção ocorresse no estágio I ou III, o produto marginal de outros insumos seria negativo (I) ou o produto marginal do insumo em questão seria negativo (III). Logo, ambas situações não seriam racionais (MILLER, 1981).

No Gráfico 6 é apresentada a relação entre a quantidade de aço produzida, em toneladas, e o Número de Funcionários.

Gráfico 6 - Relação entre quantidade produzida de aço e o número de funcionários



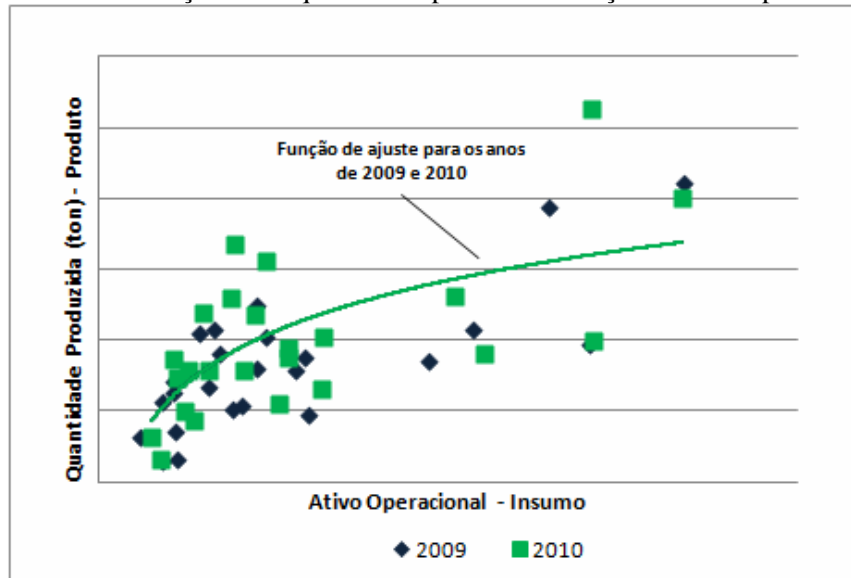
Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Ressalta-se que os rendimentos decrescentes ocorrem para os dois anos de análise e que ocorreu um aumento no retorno da função de produção, considerando apenas o trabalho de 2009 para 2010. Esse movimento pode ser associado às melhorias tecnológicas e, principalmente, ao aumento da demanda e produção após a crise.

Resultados similares à relação de produção e mão-de-obra são encontrados utilizando como insumo o Ativo Operacional, representando neste caso o capital, como se pode observar no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Relação entre quantidade produzida de aço e o ativo operacional



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Os dois insumos determinantes, selecionados para análise quanto aos seus rendimentos, apresentaram semelhanças nos resultados e confirmam a existência de rendimentos decrescentes entre os insumos e o produto. Esta análise foi realizada, também, com dois *inputs* selecionados para a mensuração da eficiência econômica (despesas com mão-de-obra e custo de aço) e os resultados obtidos foram os mesmos, rendimentos decrescentes.

Logo, o modelo DEA que melhor se ajusta a realidade das usinas é o que considera retornos variáveis de escala, denominado de *Variable Returns to Scale* (VRS).

6.3 AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS

A análise da eficiência relativa das usinas siderúrgicas *mini-mills* da Gerdau S.A., foi precedida de avaliação das variáveis selecionadas, com o objetivo de assegurar que o modelo esteja corretamente formulado e especificado, além de verificar se os dados são aplicáveis à realidade das DMUs. Algumas destas variáveis são descritas nesta seção em função de modificações realizadas ou para explanar detalhes importantes que podem interferir no entendimento do resultado de eficiência obtido. O insumo e os produtos analisados são: Número de Acidentes, Sucata e Resultado Operacional.

6.3.1 O insumo Número de Acidentes

A segurança dos funcionários da Gerdau, assim como de terceiros que trabalham nas instalações da empresa, é um assunto de grande importância para a organização, sendo foco de diversas ações para conscientização, utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) e para a criação de uma postura de redução de riscos. Atualmente, a Gerdau possui a meta de zero acidentes para todas as suas unidades. Entretanto, como o *software Frontier Analyst* não permite a inclusão de *inputs* ou *outputs* com valores zerados, foi necessário alterar os dados fornecidos pela empresa, uma vez que na amostra selecionada existem unidades sem acidentes durante os anos de 2009 e 2010.

Desta forma, as unidades que não tiveram acidentes, ou seja, apresentaram valor zero no ano de análise, tiveram seus dados alterados por 0,01, enquanto que os demais permaneceram com seus valores reais.

6.3.2 Sucata como produto do processo produtivo

Como resultado do processo produtivo das usinas siderúrgicas, se obtém o aço bruto; entretanto, parte deste aço é sucateado, usualmente, devido a problemas de qualidade. Assim, por ser um produto indesejável e que diminui o volume de produção das usinas, o dado é tratado nas usinas como um produto negativo, ou seja, que diminui a produção final.

A fim de verificar a melhor maneira de representar esta variável na função de produção e no cálculo da eficiência através do sistema DEA, foi realizado um teste com a variável ‘Quantidade Sucateada’. O teste consistiu em utilizá-la como um produto negativo e, logo após, como um *input* positivo para o processo, uma vez que o modelo DEA considera que a usina eficiente é aquela que utiliza menos insumos para um determinado nível de produção.

Para realização do teste, utilizou-se uma função de produção simplificada, com os insumos ‘Número de Funcionários’, representando o trabalho (L), e ‘Ativo Operacional’, representando o Capital (K). Os resultados de eficiência identificados entre as DMUs da amostra apresentaram-se semelhantes, sendo 4 unidades brasileiras como as mais eficientes, seguidas de 5 unidades localizadas na América do Norte. Entretanto, identificamos que uma unidade brasileira variou sua posição de 1º lugar em eficiência para 5º lugar, quando a variável ‘Quantidade Sucateada’ é alterada de produto para insumo.

Focando na unidade que apresentou esta variação, para avaliar os diferentes resultados encontrados, observa-se que quando a variável sucata é tratada como um produto, ela valoriza corretamente as unidades que possuem menos sucata gerada com relação ao total produzido. Essa unidade tem sua colocação alterada na relação de eficiência, quando a sucata entra como insumo, devido à magnitude dos demais insumos utilizados na função. Observa-se que a sucata tem peso se considerada como um produto, mas pela magnitude dos demais insumos ela não se torna relevante ao ser considerada como produto.

A unidade selecionada para foco desta análise também foi corroborada pelo responsável do processo Industrial como uma das unidades que apresenta um dos melhores resultados de eficiência, baseando-se nos indicadores utilizados pela empresa atualmente.

Assim, levando em consideração a importância da variável de sucata na produção e na análise de *performance* das usinas para a empresa, decidiu-se incluir como *output* do processo com sinal negativo, o qual reduz o outro *output* de Quantidade de Aço Produzido.

6.3.3 Resultado operacional como produto negativo

Um dos produtos definidos para a análise de eficiência é o Resultado Operacional, o qual representa o resultado apurado para fins gerenciais, por usina. Esta variável apresentou, nos anos de 2009 e 2010, resultados negativos (prejuízo), para algumas unidades. Entretanto, o *software Frontier Analyst* não executa o cálculo dos índices de eficiência, quando há apenas um produto e este apresenta resultados negativos.

Assim, os dados do *output* Resultado Operacional foram modificados, a fim de atender os parâmetros do *software Frontier Analyst*. Acrescentou-se, então, um valor idêntico nos dados de todas as unidades, independente de possuírem resultados positivos e negativos, nos anos de 2009 e 2010. O valor acrescido foi definido pelo resultado aproximado da DMU com menor resultado, de forma que todas as unidades estivessem com valores positivos.

Após a alteração, foi realizado um teste para confirmar a inexistência de diferenças entre os resultados com a variável alterada ou com os dados originais. Utilizou-se para isso, os mesmos insumos utilizados nos testes anteriores, Número de Funcionários e Ativo Operacional, e como produto, Quantidade de Produção de Aço e Resultado Operacional. Em um primeiro momento utilizaram os dados originais e após, os novos dados, todos números positivos. Identificou-se que o acréscimo no montante de resultado das usinas não alterou os escores de eficiência, mantendo os resultados exatamente iguais. Desta forma, optou-se por utilizar os dados alterados, pois possibilita a utilização da variável de Resultado Operacional como um único *output*. Se os dados mantivessem inalterados, esta variável não poderia ser utilizada sozinha, mas somente em conjunto com outra também classificada como *output*.

Na análise dos impactos dos preços relativos sobre a eficiência das usinas, a variável de Resultado Operacional será um produto único e por isso existia necessidade de alteração. Diferentemente da situação encontrada na eficiência técnica, onde existem dois produtos que se complementam (produção de aço e sucata gerada).

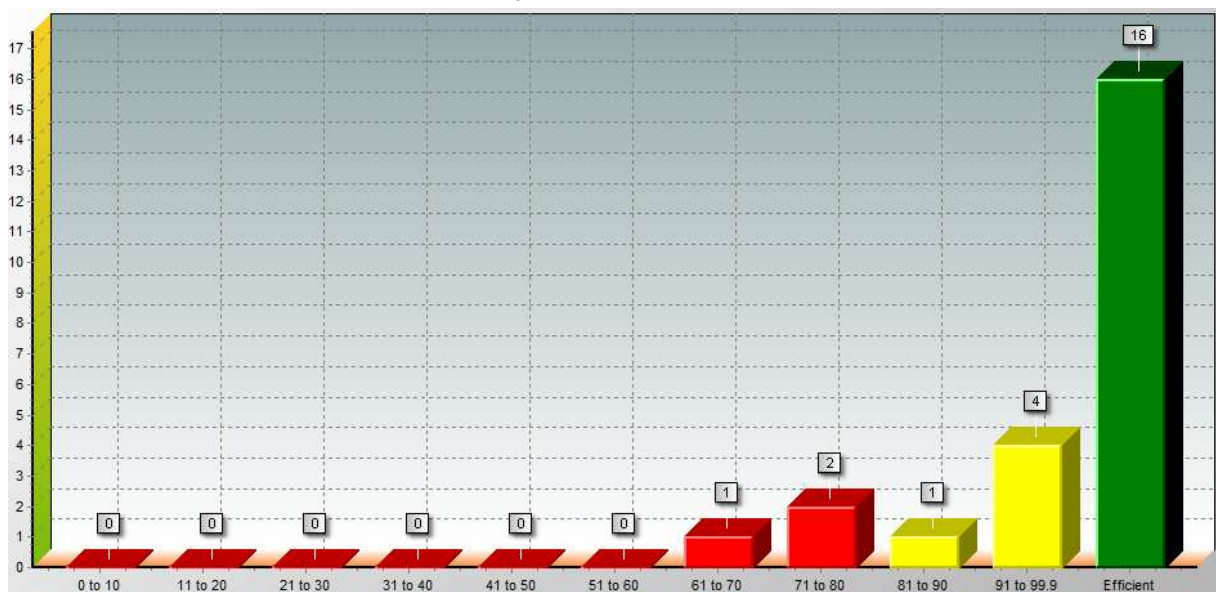
Assim, o cálculo da eficiência técnica das 24 usinas siderúrgicas da Gerdau selecionadas, conforme mencionado na metodologia, utiliza como produtos a Quantidade de Aço Produzida e a Quantidade Sucateada. Já os insumos utilizados foram: Número de Funcionários, Ativo Operacional, Ferros-Liga, Energia Elétrica, Acidentes de Trabalho e *Power-Off*. Conforme concluído na seção 6.1.2, a variável de Metálicos foi excluída da mensuração da eficiência.

As demais variáveis, Despesas com Mão-de-obra, Custo do Aço e Resultado Operacional, juntamente com o Ativo Operacional, são utilizadas na análise do impacto dos preços sob a eficiência técnica, a qual é abordada na seção 6.5.

6.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS USINAS DA GERDAU

Pela aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) nas 24 usinas selecionadas, verifica-se que 16 delas encontram-se na fronteira de eficiência. No Gráfico 8 observa-se a distribuição dos escores de eficiência técnica referente ao ano de 2010.

Gráfico 8 – Distribuição dos Escores de Eficiência Técnica



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Os resultados por DMU são apresentados na Tabela 8, sendo consideradas as unidades eficientes aquelas que apresentam escores de 100%. Para facilitar a comparação, o período de 2009 foi acrescentado com seus respectivos índices. Devido às pequenas variações entre os anos, a análise dos resultados foi realizada sobre 2010. As principais variações entre os dois períodos também são comentadas nesta seção.

Tabela 8 – Resultado de eficiência técnica relativa das usinas *mini-mills*

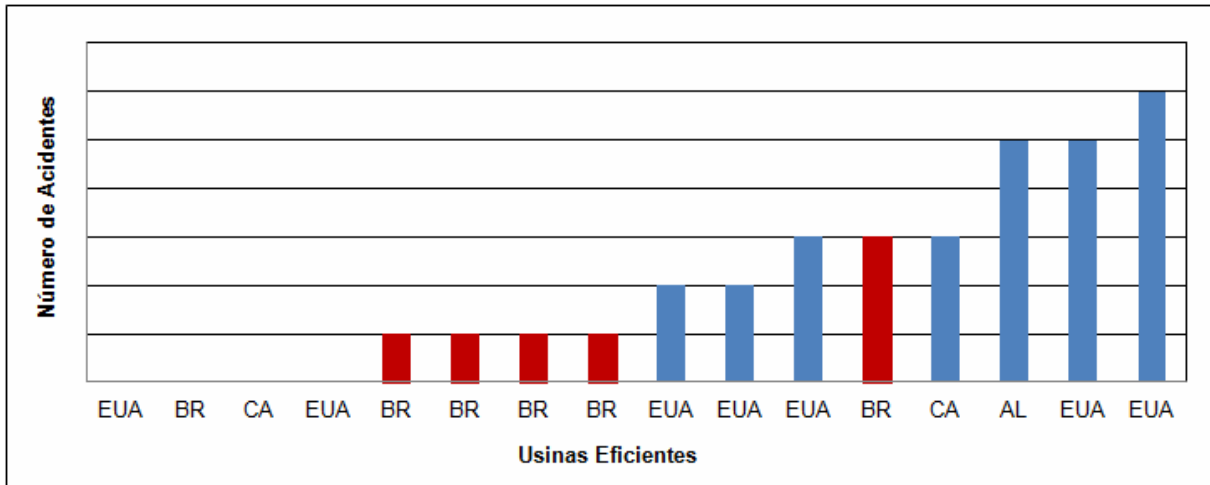
Unidade	Escore de Eficiência 2010	Posição 2010	Escore de Eficiência 2009	Posição 2009	Capacidade de produção em 1.000 ton.
BR5	100%	1	100%	12	Entre 400 e 800
BR6	100%	2	100%	2	Até 400
BR2	100%	3	100%	5	Até 400
EUA21	100%	4	98,6%	16	Entre 400 e 800
AL22	100%	5	100%	3	Até 400
BR4	100%	6	100%	6	Acima de 800
BR7	100%	7	100%	7	Entre 400 e 800
CA14	100%	8	90,2%	21	Acima de 800
EUA11	100%	9	100%	14	Entre 400 e 800
EUA17	100%	10	100%	9	Acima de 800
EUA18	100%	11	100%	10	Acima de 800
EUA19	100%	12	100%	13	Entre 400 e 800
EUA20	100%	13	100%	11	Até 400
EUA9	100%	14	100%	15	Entre 400 e 800
BR1	100%	15	100%	4	Até 400
CA8	100%	16	100%	1	Até 400
EUA15	99,7%	17	93,4%	20	Entre 400 e 800
EUA10	98,5%	18	95,6%	18	Entre 400 e 800
AL23	95,9%	19	95,6%	19	Entre 400 e 800
EUA13	93,8%	20	100%	8	Até 400
CA16	87,0%	21	78,2%	23	Até 400
EUA12	80,2%	22	95,8%	17	Entre 400 e 800
AL24	76,4%	23	84,8%	22	Entre 400 e 800
BR3	66,3%	24	72,8%	24	Entre 400 e 800

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Observa-se que, dentre as unidades eficientes, mantém-se a maioria das usinas brasileiras e em melhor posição que as demais. As usinas localizadas na América do Norte também estão colocadas como eficientes, entretanto, há um grupo com índices menores de eficiência que representa 35% do total. Já as empresas latino-americanas são em maioria ineficientes, mas com uma DMU na fronteira de eficiência.

Os principais fatores determinantes na eficiência das usinas possibilitaram a separação destas em grupos, de acordo com as suas localizações geográficas. Nas usinas eficientes brasileiras, os insumos determinantes para tal resultado foram o número de acidentes e o *power-off*. Os demais *inputs* demonstraram-se relevantes para determinadas usinas, mas não para o grupo como um todo. O Gráfico 9 contém a quantidade de acidentes de cada usina eficiente e a posição das usinas do Brasil, considerando que quanto menor o insumo melhor é a DMU.

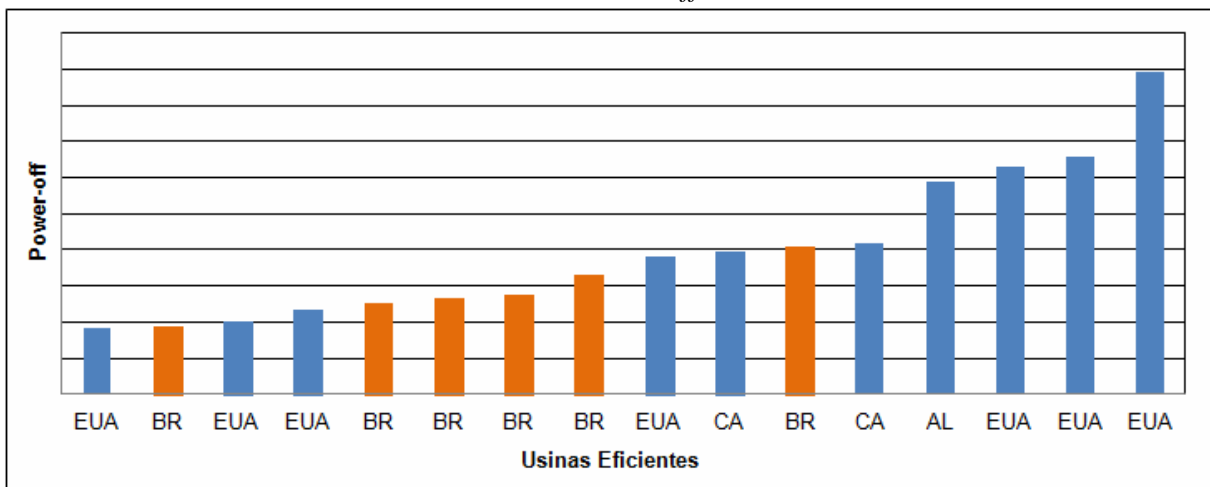
Gráfico 9 – O insumo de número de acidentes nas usinas eficientes



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

O insumo de *Power-off* em cada uma das usinas eficientes é apresentado no Gráfico 10, com destaque para as unidades brasileiras.

Gráfico 10 – O insumo de *Power-off* nas usinas eficientes

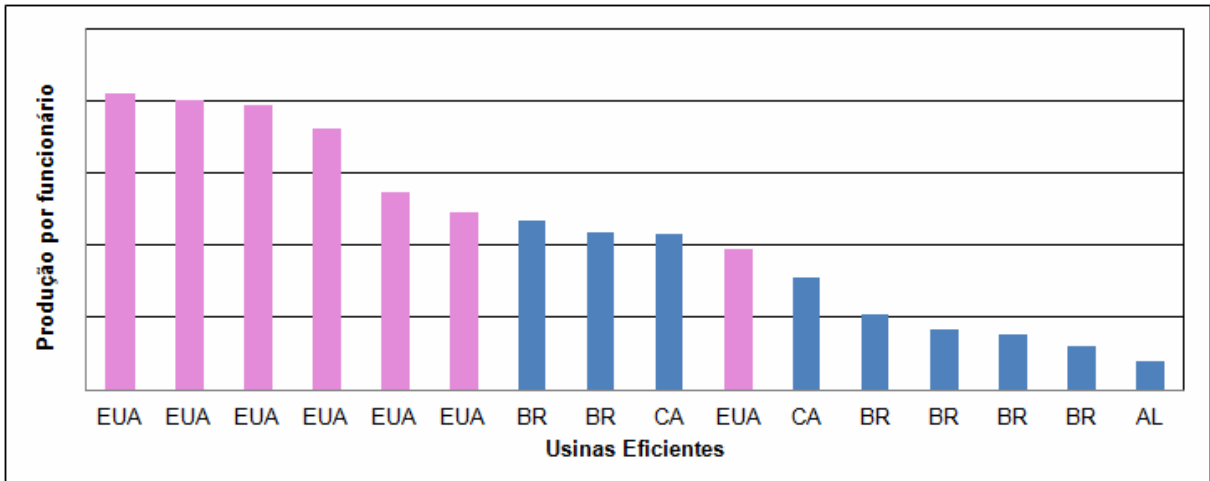
Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

A unidade mais eficiente em 2010 é uma usina localizada no Brasil, sendo esta a mais nova aquisição da Gerdau neste país. Aliado aos insumos relevantes para as demais DMUs brasileiras, identifica-se uma boa relação no consumo de Energia, Ferros-Liga e Número de Funcionários. Inclusive, este último coloca a unidade BR5 como a primeira unidade, logo depois das norte-americanas, com o melhor índice na utilização de mão-de-obra por tonelada de produção, sendo esta uma característica não comum entre as empresas brasileiras, conforme se observa no Gráfico 11 e no Gráfico 14.

Já nas unidades eficientes norte-americanas, de maneira geral, o Número de Funcionários e o Ativo Operacional são os *inputs* relevantes para o alcance deste resultado. O resultado da relação entre a quantidade produzida por cada funcionário empregado demonstra a posição das empresas americanas eficientes frente às demais com relação a estes insumos, e está representado no Gráfico 11.

Gráfico 11 – Produção por funcionário nas usinas eficientes

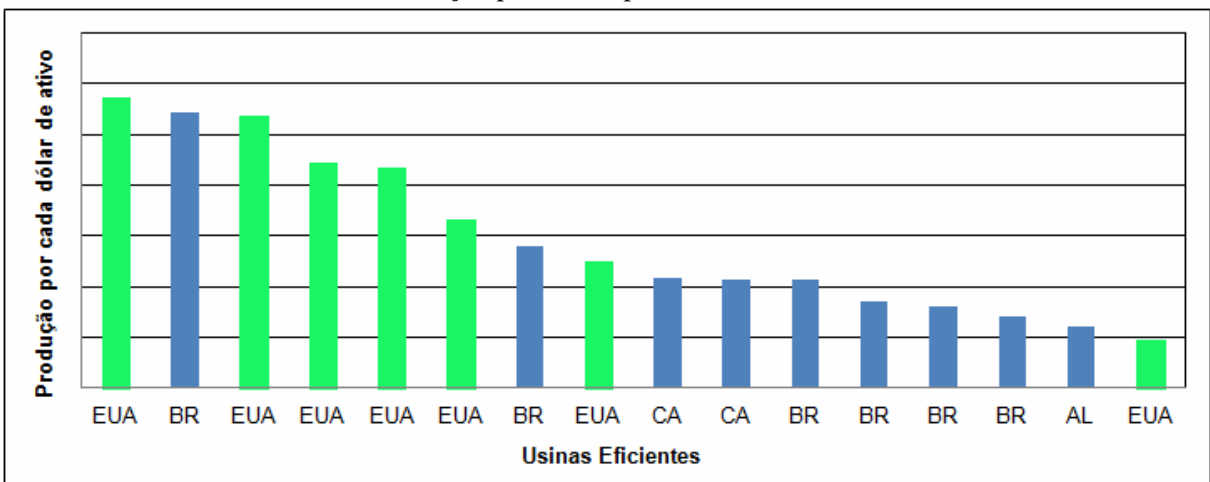


Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Os resultados da relação entre o volume produzido para cada dólar de ativo operacional é demonstrado através do Gráfico 12, e evidencia melhores resultados para o grupo de DMUs dos EUA.

Gráfico 12 – Produção por ativo operacional nas usinas eficientes



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores dos eixos foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Nas duas unidades eficientes localizadas no Canadá não há um único fator determinante para explicação do seu resultado. Esta diferença de comportamento pode estar associada à disparidade entre suas capacidades de produção, tendo a CA14 mais de 800mil toneladas, e a CA8 menos de 400mil toneladas. A primeira possui uma relação eficiente perante às demais no insumo de Energia e Número de Acidentes, enquanto a segunda é determinada pela relevância na matéria-prima de Ferro-Liga.

A AL22, única unidade da América Latina considerada eficiente, tem no insumo de Ferros-Liga a maior contribuição para seu resultado. Através das entrevistas realizadas, justifica-se a posição desta unidade pela sua localização estratégica, onde não há dificuldades na aquisição de matéria-prima (sucata e ferros-liga) e mão-de-obra, em parte pela ausência de outras siderúrgicas próximas. Outra característica importante é a utilização da sua capacidade produtiva em mais de 90%.

Devido à quantidade de unidades eficientes identificadas através do modelo, torna-se difícil identificar uma única variável comum a todas as DMUs. Entretanto, através das informações coletadas nas entrevistas, observa-se que 11, das 16 usinas eficientes, caracterizam-se pela utilização de mais de 85% da sua capacidade produtiva. Conclui-se que a rigidez na variabilidade dos insumos relativamente fixos, como ativo e mão-de-obra, com relação à quantidade produzida faz deste um dos fatores influenciadores na eficiência técnica.

As outras cinco usinas eficientes com baixa utilização do seu ativo (média de 50%) puderam ser classificadas como eficientes seja por sua produtividade com os demais insumos, ou pelo fato de possuírem bons equipamentos de produção, reforçando a importância da tecnologia no processo. Esta viabiliza uma redução dos insumos utilizados, mesmo que a capacidade produtiva não seja utilizada em sua totalidade.

Ao separar as usinas em grupos, observa-se que as variáveis relacionadas às práticas de gestão dos processos são mais favoráveis às empresas brasileiras. O fator de explicação pode estar associado ao fato de pertencerem à Gerdau há mais tempo, e terem recebido essas melhores práticas antes das demais, como por exemplo, ações de incentivo à segurança e à gestão focada em indicadores na produção, como o *Power-off*. Já nas empresas norte-americanas é evidente a eficiência na mão-de-obra, através de uma produção com reduzido número de funcionários, e a melhor relação entre ativo operacional e quantidade produzida.

As oito DMUs consideradas ineficientes possuem capacidades produtivas variadas, entre 50% e 87% e predominantemente localizadas na América do Norte. Como característica comum, apresentam o resultado do *Power-off* com índices piores que os das unidades

eficientes, o que ocorre também para o consumo de energia. Apresentam ainda, em quatro unidades, altos índices de sucata de produção, o que reduz a quantidade de aço produzido.

A unidade menos eficiente, em 2010, foi a BR3, que possui características completamente diferentes das demais brasileiras. Ela foi concebida como usina integrada, porém, está operando como uma usina *mini-mill*, de forma que apenas parte de seus ativos estão sendo utilizados. Isso explicaria sua elevada ineficiência medida pela folga de 57,3% no insumo capital. Outro elemento é o fato de estar operando com um forno adaptado para trabalhar com sucata, ao invés de minério, em consequência da dificuldade de obtenção de matérias-primas na região em que atua. Outros insumos são impactados por esta realidade, como o *Power-off*, que apresenta uma melhoria potencial de 30%, e número de funcionários com a redução potencial de 39%, se comparados aos *benchmarks* estabelecidos pelo *software Frontier Analyst*.

As usinas latino-americanas apresentam uma melhoria potencial acentuada no ativo operacional e nos acidentes de trabalho. Na Tabela 9 pode-se observar a potencialidade de melhoria para cada uma das DMUs ineficientes, com escores menores de 100%.

Tabela 9 – Melhoria potencial (%) para as DMUs ineficientes

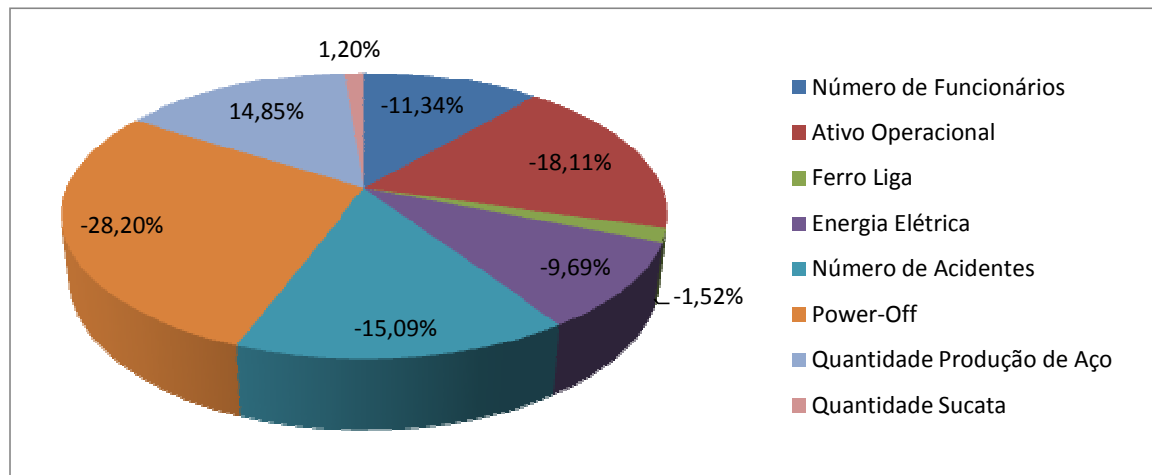
DMUs	Eficiência Técnica	Inputs						Outputs	
		Func	AtOper	FerLig	Ener	AcTrab	Pow	QtProd	QtSuc
EUA15	99,7%	-	-	-	-0,91	-	-51,15	0,26	0,26
EUA10	98,5%	-8,20	-	-	-10,80	-29,96	-39,91	1,57	1,57
AL23	95,9%	-9,17	-45,31	-	-2,98	-80,54	-25,36	4,27	4,27
EUA13	93,8%	-	-10,58	-	-16,49	-	-47,22	6,56	-32,80
CA16	87,0%	-3,13	-19,43	-	-33,35	-	-2,32	14,98	14,98
EUA12	80,2%	-3,68	-	-13,67	-	-	-44,00	24,65	-34,64
AL24	76,4%	-39,27	-30,89	-	-8,57	-25,49	-16,29	30,84	30,84
BR3	66,3%	-38,49	-57,03	-	-14,25	-	-27,42	50,73	26,35

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Os insumos apresentam-se como percentuais negativos, uma vez que a melhoria ocorre a partir da redução da sua utilização na produção, enquanto para os produtos é esperada a sua maximização. No caso do produto sucata, por ser um produto negativo, os resultados de potencial de melhora indicam a necessidade da sua redução, quando negativos, ou a possibilidade do seu aumento, sem alteração da sua eficiência atingida, quando positivos. O *output* de quantidade de aço indica o percentual de maximização da produção, caso as metas dos insumos sejam atingidas.

O insumo de *Power-Off* é o que apresenta o maior percentual de melhorias potenciais para as usinas da amostra. Através do Gráfico 13, elaborado através do *software Frontier Analyst*, verifica-se a potencialidade de melhora da eficiência através da redução dos insumos e o aumento do produto, em termos percentuais, para o grupo das usinas ineficientes.

Gráfico 13 – Melhorias potenciais das variáveis do modelo de eficiência técnica



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

O *Power-off* é um insumo afetado diretamente pela qualidade da sucata adquirida e pela existência ou não de um processo de limpeza, adensamento e corte, através do equipamento Schredder. Além disso, a existência de fornos especiais Consteel gera uma redução considerável neste indicador. Observa-se que as cinco unidades com melhor índice neste indicador são duas brasileiras (BR1 e BR7) e três americanas (EUA19, EUA20 e EUA21), todas elas incluídas entre as mais eficientes. Outras características interessantes, obtidas através das entrevistas, justificam seus resultados de *Power-off* e conseqüentemente suas posições no *ranking*:

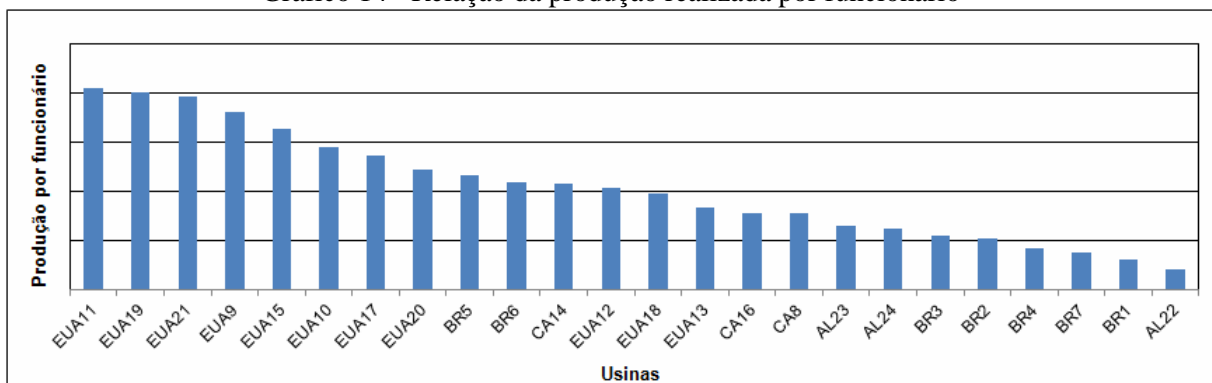
- usinas brasileiras: localizadas em regiões com menor concorrência, o que facilita o acesso à matéria-prima através de sucateiros locais. Além disso, a unidade BR7 possui um equipamento Shredder, o que facilita no tratamento da sucata e conseqüente melhoria dos carregamentos aos fornos, gerando uma quantidade de aço maior a cada corrida e uma redução de sucata de produção;
- usinas norte-americanas: possuem os fornos Consteel que, pela natureza desta tecnologia, tem desligamentos dos fornos esporádicos, já que as paradas rotineiras dos processos convencionais não são necessárias.

Fazendo uma análise baseada na tecnologia diferenciada de algumas usinas, identifica-se que cinco DMUs que possuem o equipamento Schereder estão entre as 6 DMUs que menos geram sucata. Já para as três unidades que possuem o forno de Consteel, apresentam os melhores resultados em *Power-Off* e, por consequência, também estão entre as 5 primeiras mais eficientes no consumo de energia. Além disso, todas as usinas com esses equipamentos diferenciados frente às demais estão na fronteira de eficiência, demonstrando a relevância destes insumos específicos.

O ativo operacional é o segundo *input* com maior percentual de melhora. É importante considerar que o capital de giro, equipamentos e toda a estrutura física representada por este insumo são relativamente fixos. As metas identificadas pelo *software Frontier Analyst* neste caso demonstram um ponto de atenção para o alcance da eficiência, mas não necessariamente uma meta atingível. Exemplificando, na usina BR3 esta meta indica a situação atual, com uma estrutura demasiado grande para atender ao nível de produção atual, mas não aponta uma meta factível a curto e médio prazo quando indica uma redução potencial de mais de 50%.

A força de produção, que representa uma potencial melhoria de 11,3% no conjunto das DMUs, está em uma relação plenamente favorável às usinas dos Estados Unidos. Ao dividir a quantidade de produção pelo número de funcionários obtém-se um índice onde as oito primeiras usinas são localizadas nos Estados Unidos e as oito últimas compostas pelas 3 usinas da América Latina e 5 brasileiras, conforme dados do Gráfico 14. Entretanto, apesar da importância da variável de mão-de-obra, citada inclusive em diversos outros estudos, tais como Braglia, Zanoni e Zavanella (2003), Kim, H. (1995), Kim, J. et al. (2006), Mariano (2010), Minato (2006), Perentelli (2007), Ramos (2007), Ray, Seiford e Zhu (1998) e Ray e Mahadevan (2002), conclui-se que esta variável não influencia o resultado da eficiência técnica a ponto de posicionar as usinas americanas como as mais eficientes.

Gráfico 14 - Relação da produção realizada por funcionário



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores do eixo foram excluídos para preservar as informações da empresa.

Tratando das principais diferenças entre os períodos analisados, os grandes avanços ocorridos de 2009 para 2010 foram das usinas EUA21 e CA14, que deixaram de ser ineficientes para tornarem-se eficientes. Não há uma justificativa única para este avanço; entretanto, ao analisar os dados dos insumos *versus* produtos é possível identificar que, embora tenham um nível de utilização da capacidade produtiva aproximado de 50%, há melhoria na utilização dos insumos de energia elétrica, número de acidentes e *Power-off*.

Já a maior queda do ano de 2009 para 2010 foi da usina EUA13, que deixou de ser uma usina eficiente para se tornar uma unidade com escore de 93,8%. As características desta usina são similares às anteriores; no entanto, observa-se que os insumos citados tiveram resultados piores, o que justifica a queda. Em ambos os períodos, tanto as usinas que elevaram como aquelas que reduziram seu índice, não estão localizadas em mercados aquecidos, indicando que os insumos de Ativo Operacional e Numero de Funcionários não têm uma boa relação no seu uso se comparados aos demais.

De maneira geral, pode-se concluir que as usinas brasileiras são as mais eficientes tecnicamente, tendo como insumos relevantes o *power-off* e número de acidentes. Já as norte-americanas são marcadas pela eficiência em mão-de-obra e no ativo. Outro fator característico dessas DMUs é a utilização da capacidade produtiva acima dos 85%.

6.5 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ECONÔMICA DAS USINAS DA GERDAU

Como complemento à mensuração técnica, foi analisada a eficiência econômica com o objetivo de verificar se as unidades tecnicamente eficientes são também as mais rentáveis. E, ainda, verificar o impacto da localização nestas relações. Assim, têm-se então os escores de eficiência econômica, o qual demonstra que as unidades mais eficientes são aquelas que dados os gastos com os insumos de produção conseguem obter o maior retorno econômico.

Os dados referentes às estas novas variáveis estão todos expressos em dólares. As conversões monetárias são realizadas pela Gerdau para apuração do resultado mensal, as quais são convertidas pela taxa média mensal do câmbio de cada país.

A análise da eficiência econômica foi realizada apenas para o ano de 2010, a fim de evitar distorções causadas pelos efeitos da crise do *subprime*.

No Quadro 7 estão detalhados os *inputs* e *outputs* utilizados para calcular os novos índices de eficiência econômica.

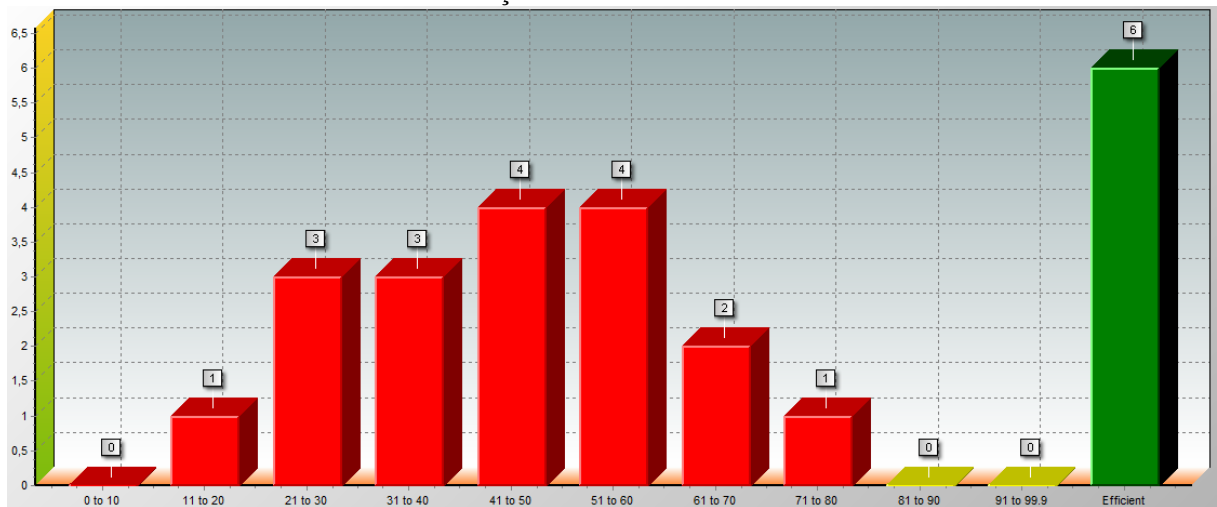
Quadro 7 – Novas variáveis para cálculo da eficiência econômica

Insumo/Produto	Variáveis utilizadas para cálculo da eficiência técnica	Novas variáveis contendo os preços relativos (em dólares)
Insumos	Número de Funcionários	Despesas com Mão-de-Obra
	Ativo Operacional	Ativo Operacional
	Ferros-Liga	Custo de Produção do Aço
	Energia Elétrica	
	Acidentes de Trabalho	
	Power-off	
Produtos	Quantidade de Aço Produzido	Resultado Operacional
	Quantidade Sucateada	

Fonte: Elaboração própria

A distribuição dos escores de eficiência econômica relativa segue no Gráfico 15, construído através do *software Frontier Analyst*. Verifica-se uma distribuição diferenciada com relação à eficiência técnica, apresentada na seção 6.4, a qual estava concentrada nos escores de eficiência entre 90% e 100%.

Gráfico 15 – Distribuição dos Escores de Eficiência Econômica



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Os resultados por DMU são apresentados na Tabela 10. Foram acrescentados os resultados da eficiência técnica, também referente ao período de 2010, com o objetivo de facilitar a comparação entre os escores. Estão grifadas as DMUs com resultados de 100% de eficiência tanto técnica quanto econômica.

Tabela 10 – Resultado da eficiência com a utilização dos preços relativos

Unidade	Eficiência Econômica	Posição	Eficiência Técnica	Posição	Capacidade Instalada (mil ton.)
AL22	100,0%	1	100%	5	Até 400
BR1	100,0%	2	100%	15	Até 400
BR2	100,0%	3	100%	3	Até 400
BR4	100,0%	4	100%	6	Acima de 800
BR6	100,0%	5	100%	2	Até 400
BR7	100,0%	6	100%	7	Entre 400 e 800
EUA13	72,5%	7	94,1%	20	Até 400
BR5	69,9%	8	100%	1	Entre 400 e 800
EUA10	69,3%	9	98,5%	18	Entre 400 e 800
EUA12	58,7%	10	80,7%	22	Entre 400 e 800
EUA20	57,3%	11	100%	13	Até 400
EUA9	56,5%	12	100%	14	Entre 400 e 800
BR3	52,8%	13	66,8%	24	Entre 400 e 800
CA16	47,3%	14	87,4%	21	Entre 400 e 800
CA8	45,4%	15	100%	16	Até 400
EUA19	43,6%	16	100%	12	Entre 400 e 800
EUA17	41,5%	17	100%	10	Acima de 800
EUA11	33,3%	18	100%	9	Entre 400 e 800
AL23	32,0%	19	95,9%	19	Entre 400 e 800
EUA21	31,2%	20	100%	4	Entre 400 e 800
AL24	29,1%	21	76,4%	23	Entre 400 e 800
EUA18	23,4%	22	100%	11	Acima de 800
EUA15	22,8%	23	100%	17	Entre 400 e 800
CA14	18,6%	24	100%	8	Acima de 800

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Foram identificadas seis usinas eficientes economicamente sendo a primeira localizada na América Latina e as demais brasileiras, conforme se pode observar na Tabela 10. Os insumos determinantes para a colocação destas com 100% de eficiência é a combinação da produtividade destas unidades nos três *inputs* utilizados para mensuração da eficiência técnica, ativo operacional, despesas com mão-de-obra e custo do aço.

Além disso, as usinas mais rentáveis apresentam como características em comum a utilização da suas capacidades produtivas acima dos 85% e suas localizações geográficas em países onde a demanda por aço está em crescimento desde a crise de 2008. Segundo a Worldsteel Association (2010b), no Brasil a produção de aço cresceu 24% de 2009 para 2010, voltando a estabelecer um nível de produção igual ao de 2008, ano anterior à crise e quando recordes de produções foram realizados em praticamente todos os países. Já para os países da América do Norte (EUA e Canadá) houve aumento na produção de aproximadamente 40% no mesmo período, mas ainda distantes em 20% dos níveis anteriormente praticados. Na América Latina, o cenário é similar ao do Brasil, com uma recuperação dos níveis produtivos de 2008 e ainda ultrapassando em 5%.

É importante salientar que, apesar de haver demanda para a indústria siderúrgica, há também uma oferta mundial de aço com capacidades de usinas excedentes, o que gera um preço de equilíbrio, com margens reduzidas. Neste cenário, através dos resultados de eficiência, verifica-se que as usinas rentáveis também apresentam eficiência técnica, uma vez que a melhor utilização dos seus insumos gera menores custos e, conseqüentemente, maiores resultados.

Autores como Carvalho et al. (2007) e De Paula (2002), em seus estudos sobre eficiência, mencionaram as vantagens econômicas da siderurgia brasileira sobre os demais países, destacando o baixo custo da matéria-prima (carvão mineral, minério de ferro e sucata), a relação custo *versus* qualidade do minério de ferro brasileiro, além da fonte de energia através das hidrelétricas, um dos principais insumos do processo siderúrgico, e das despesas com salários.

O primeiro lugar em eficiência econômica é a usina localizada na América Latina AL22. A contribuição para sua classificação como rentável vem, principalmente, dos insumos de ativo operacional e custo do aço, segundo dados gerados pelo *Frontier Analyst*. Corroborando através das entrevistas realizadas, verificou-se que esta usina possui uma capacidade pequena, baixo capital de giro e com uma capacidade produtiva utilizada acima dos 90%. Ainda, esta unidade apresenta uma diferenciação em termos de localização, com poucos concorrentes e vantagens em termos de aquisição de matéria-prima. A aquisição da sucata é facilitada pela maior disponibilidade no mercado da região e com custo mais baixo que nos demais países. Este fato também possibilita uma maior proporção de sucata do que ferro-gusa na produção, tornando o custo ainda mais baixo. A usina AL22 apresenta um resultado diferente das demais do mesmo grupo latino-americano, as quais foram consideradas ineficientes e apresentando melhorias potenciais relevantes no insumo de despesas com mão-de-obra.

Nas usinas ineficientes, a característica comum é a eficiência centralizada apenas no insumo Ativo Operacional. Isto quer dizer que as demais variáveis, despesas com funcionários e custo do aço, não foram consideradas relevantes quando comparadas aos resultados das usinas mais rentáveis. Através do *Frontier Analyst*, pode-se concluir que 15 das 18 usinas ineficientes possuem o ativo com único fator contribuinte. Evidenciando esta informação, através da Tabela 11 observa-se que os *targets* destas usinas são concentrados nos demais insumos, sendo eles a despesa administrativa e, com menor participação, o custo da matéria-prima.

Na Tabela 11 observa-se a potencialidade de melhoria para cada uma das DMUs ineficientes economicamente.

Tabela 11 – Melhoria potencial (%) para as DMUs com ineficiência econômica

DMUs	Eficiência Econômica	Inputs			Output
		AtOper	DesAdm	CstAço	ResOper
EUA13	72,5%	-	73,47	-	37,91
BR5	69,9%	-17,18	-	-29,37	43,12
EUA10	69,3%	-	-87,22	-47,18	44,29
EUA12	58,7%	-	-80,33	-7,16	70,22
EUA20	57,3%	-	-79,74	-	74,42
EUA9	56,5%	-	-88,54	-64,61	77,09
BR3	52,8%	-	-42,75	-	89,25
CA16	47,3%	-	-87,26	-17,37	111,41
CA8	45,4%	-	-74,68	-	120,44
EUA19	43,6%	-	-85,63	-31,92	129,31
EUA17	41,5%	-	-72,23	-37,8	141,13
EUA11	33,3%	-	-89,08	-39,34	200,04
AL23	32,0%	-26,37	-69,84	-	212,9
EUA21	31,2%	-	-79,55	-9,3	220,04
AL24	29,1%	-	-76,37	-36,82	243,42
EUA18	23,4%	-17,64	-55,2	-	328,01
EUA15	22,8%	-	-87,82	-49,94	337,78
CA14	18,6%	-	-81,16	-31,44	437,71

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

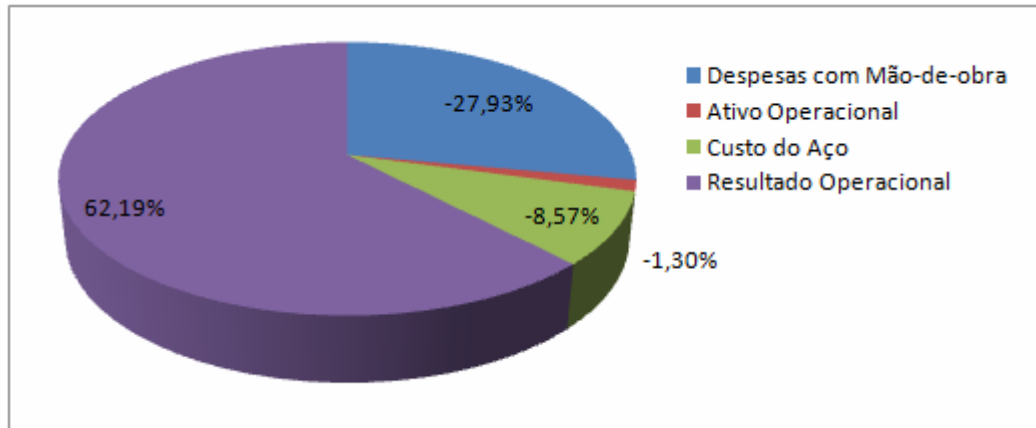
A usina mais eficiente tecnicamente (BR5) não tem a mesma posição quando da sua análise econômica. Apresenta no *input* de custo do aço um *target* de redução em 29% e no ativo em 17%. Em entrevista realizada, foi confirmado o ativo alto devido aos investimentos recentes realizados nesta usina, uma vez que ela é a mais nova unidade do Brasil selecionada. Além disso, encontra-se em uma região com forte concorrência e com custos altos na aquisição da sucata.

A última colocada em eficiência técnica (BR3) encontra-se em 13º lugar na eficiência econômica, demonstrando que apesar de haver uma ineficiência na utilização dos seus recursos produtivos, conforme mencionado anteriormente na seção 6.4, a usina gera para a empresa um resultado econômico melhor que de outras unidades. Ao analisar a Tabela 11 com as potencialidades de melhoria para cada usina, verifica-se que grande parte da sua ineficiência está atribuída aos gastos com mão-de-obra, com uma potencialidade de redução de aproximadamente 40%. Parte dessa ineficiência se explica pelo fato da tecnologia da usina

ser adaptada para a produção como uma usina *mini-mill*, o que demanda um número maior de funcionários para a estrutura e, conseqüentemente, aumento na despesa administrativa.

No Gráfico 15 estão apresentadas de maneira consolidada as melhorias potenciais em *inputs* e *outputs* para aumento da eficiência econômica nas usinas ineficientes.

Gráfico 15 – Melhorias potenciais das variáveis do modelo de eficiência econômica



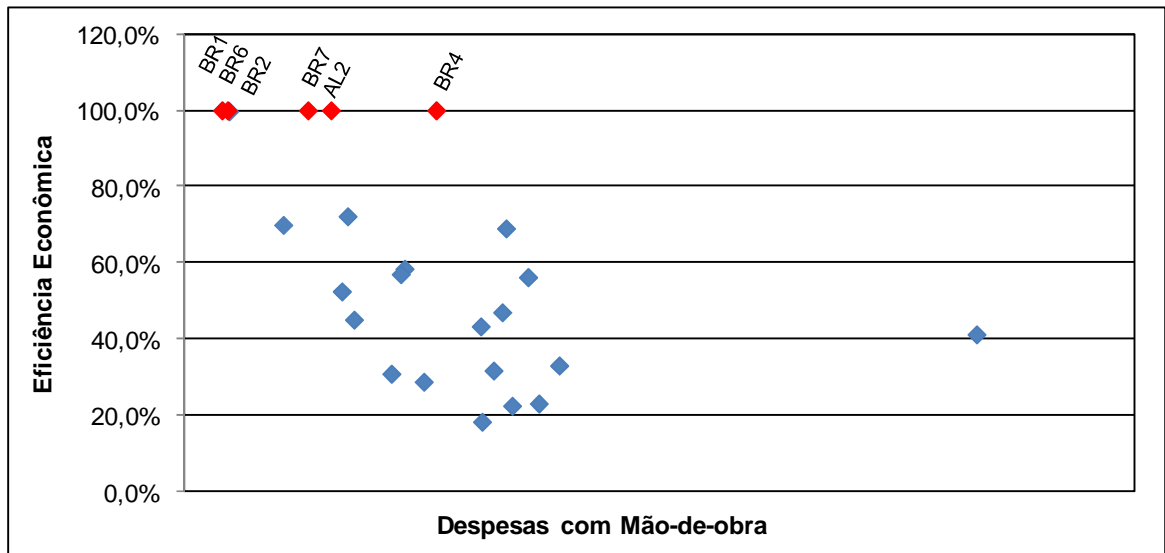
Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

O Resultado Operacional tem um potencial de melhoria em 62% caso os *inputs* regredissem nas proporções estabelecidas. Entretanto, é importante salientar que os resultados das usinas são diretamente relacionados à situação econômica de cada região, assim como à redução dos custos de produção, os quais também dependem de condições de mercado. O estudo de Ray e Kim, H. (1995) analisou a eficiência econômica do setor siderúrgico durante 18 anos nos Estados Unidos e atribuiu às diferenças encontradas os elevados custos das matérias-primas, mas também ponderou sobre a redução de custos uma vez que estes são influenciados pelo mercado, concorrência, situação econômica, etc., e não apenas relacionados a uma ação gerencial.

Ao relacionar os resultados obtidos entre o Número de Funcionários *versus* Quantidade Produzida (eficiência técnica) e a Despesa Administrativa *versus* Resultado Operacional (eficiência econômica) observa-se que a mão-de-obra, quando tratada em termos técnicos, é mais eficiente nas usinas dos Estados Unidos. Entretanto, quando analisadas em termos econômicos, as usinas brasileiras lideram. Interessante salientar que as unidades brasileiras mesmo com um número maior de funcionários, conseguem dispor de uma melhor produtividade nas despesas com funcionários e, ainda, possuem a posição tanto na eficiência econômica e na eficiência técnica.

Através da relação entre a despesa administrativa e o índice de eficiência econômica, apresentada no Gráfico 16, observa-se que quanto menor as despesas maiores são os escores com um coeficiente de correlação de $-0,57$. Ainda, conforme mencionado, as unidades brasileiras são aquelas com os menores consumos deste *input*.

Gráfico 16 – Relação entre as despesas com mão-de-obra (x) e os índices de eficiência econômica (y)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela Gerdau.

Nota: Os valores do eixo foram excluídos para preservar as informações da empresa.

A unidade BR4 possui um montante maior de despesas; entretanto, é uma usina com produção acima de 800mil toneladas. A usina *outlier* demonstrada no gráfico é uma usina americana com capacidade similar à brasileira, mas com despesa três vezes maior.

Outros estudos também apontaram a diferença entre salários de empresas brasileiras e americanas, inclusive, mencionando uma variação em torno de cinco vezes maior para os americanos (SACCONATO; MENEZES FILHO, 2005 e BARROS, R. et al., 1997). Além disso, conclui que os componentes que mais explicam as diferenças entre os países são os aspectos educacionais e a produtividade média, melhores nas empresas americanas. Este último fator corrobora os resultados deste estudo, onde através da análise da mão-de-obra em termos absolutos (quantidade de funcionários) as empresas americanas são mais eficientes que as brasileiras, conforme Gráfico 14 apresentado anteriormente.

Enfim, pode-se identificar como característica comum das usinas mensuradas como eficientes economicamente a boa relação dos seus insumos de Ativo Operacional, Despesas com Mão-de-obra e Custo do Aço, além do fato de serem unidades, na maioria, localizadas no Brasil. A utilização da sua capacidade produtiva, em média de 97%, corrobora a relação

rentável entre o *input* de Ativo Operacional e o *output* Resultado Operacional. Já as ineficientes apresentaram percentuais de melhoria relevantes em despesas com funcionários e também no custo do aço. Todas as usinas americanas e canadenses foram consideradas como ineficientes economicamente.

Uma vez que os resultados obtidos, tanto na eficiência técnica quanto econômica, foram validados pelos profissionais da Gerdau e o fato de haver uma aplicação prática dos resultados, é possível dizer que a técnica do *benchmarking*, através da Análise Envoltória de Dados, pode ser utilizada para avaliar a operação e resultado de cada usina. Além disso, é possível também analisar melhores práticas que porventura estejam sendo adotadas pelas unidades mais eficientes e adequá-las, no que for viável, à realidade das demais.

7 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

O objetivo deste estudo foi analisar os fatores determinantes da eficiência nas usinas *mini-mills* da Gerdau S.A.. As unidades selecionadas para análise são localizadas em diferentes países da América do Sul e América do Norte, o que possibilitou, também, identificar se a localidade tem influência na produtividade dos fatores de produção.

Das 24 usinas da seleção 16 estão na fronteira de eficiência. Pode-se afirmar que, dentre as unidades eficientes tecnicamente, mantém-se a maioria das usinas brasileiras e em melhor posição que as demais. As localizadas na América do Norte também estão classificadas como eficientes, no entanto, existe um grupo usinas que não estão na fronteira de eficiência que representa 35% das unidades desta localidade. Já as empresas latino-americanas são em maioria ineficientes, com apenas uma DMU classificada como eficiente.

As usinas brasileiras, do ponto de vista de eficiência técnica, têm como elemento determinante àqueles relacionados à segurança e ao baixo tempo de parada. Para as usinas norte-americanas a mão-de-obra e o ativo operacional são as variáveis influenciadoras positivamente no escore final.

Observa-se que ao substituir os fatores de produção por seus preços relativos na mensuração da eficiência econômica, apenas seis usinas mantiveram-se como eficientes, sendo a primeira localizada na América Latina e as demais no Brasil. Pode-se afirmar que a existência de uma maioria de usinas não rentáveis não está associada à falta de eficiência técnica, já que os resultados nos demonstraram 16 usinas *benchmarks*. Outros fatores podem estar associados a estes resultados, como por exemplo, a situação econômica do país onde está localizada, a diferença no custo das matérias-primas, preços praticados, concorrência, entre outros.

Outro ponto importante a ser considerado é a diferença na utilização do insumo de Número de Funcionários entre os países e nas Despesas com Mão-de-obra, o qual inclui os salários dos funcionários, treinamentos, etc. Foi possível constatar que as empresas americanas possuem um nível de utilização da capacidade dos seus funcionários acima das demais, entretanto, este resultado não interferiu no escore final, uma vez que as empresas brasileiras estavam na fronteira de eficiência mesmo apresentando os piores resultados entre todas as DMUs. Já na substituição da mão-de-obra por seu preço relativo, observa-se que as empresas brasileiras possuem a melhor relação à despesa e ao resultado operacional, sendo fator relevante na sua definição como as mais rentáveis.

Através de análises realizadas em conjunto com os entrevistados para este estudo, pode-se identificar que regiões com maiores demandas por produtos siderúrgicos tem como resultado uma utilização mais intensiva da planta, ou seja, há uma redução da ociosidade e uma maior relação entre produto e capital. Assim, o uso intensivo do insumo de ativo operacional e das despesas com funcionários, os quais são relativamente fixos independentemente do nível de produção, proporcionam um melhor resultado de eficiência para as usinas do Brasil e de alguns lugares da América Latina.

Outra relação analisada é a atualização tecnológica das usinas e os equipamentos especiais que auxiliam no processo siderúrgico também influenciam nos resultados da eficiência. As usinas que possuem equipamentos especiais nas suas aciarias, como Shredder e fornos Consteel apresentaram-se como eficientes tecnicamente e com os melhores níveis de consumo de energia e resultados de tempo de paradas dos fornos.

Enfim, os principais achados evidenciam que as usinas brasileiras são as mais eficientes tecnicamente, com um grupo de empresas americanas (65% do total das unidades dos EUA) também integrando esta fronteira de eficiência. Ao substituir os insumos por seus preços relativos fica evidente a superioridade nos resultados das usinas brasileiras, sendo que estas apresentaram um diferencial ao serem mais produtivas nos três insumos que compuseram a análise de eficiência econômica: o ativo operacional, as despesas com a mão-de-obra e o custo do aço. Adicionalmente, os resultados da usina mais rentável, a AL22 localizada na América Latina, demonstraram que os países que compuseram este grupo apresentam características distintas, uma vez que as demais apresentaram produtividades em níveis muito diferentes e distantes da fronteira de eficiência econômica.

Diante do exposto, sugere-se uma continuidade deste estudo aprofundando em temas relacionados ao setor siderúrgico e também ao modelo DEA. As sugestões para estudos futuros são:

- analisar a eficiência das usinas que utilizam a rota tecnológica integrada, devido a sua importância para a siderurgia mundial e brasileira e com o objetivo de identificar os fatores determinantes para a eficiência destas unidades;
- mensurar o nível de eficiência dos países no setor siderúrgico, possibilitando a análise das localidades *benchmarks* além de atualizar os estudos existentes hoje, os quais são antigos e tratam apenas de um grupo seleto de países;
- aprofundar o conhecimento na aplicação do modelo DEA, utilizando-se dos recursos de pesos para cada variável com o objetivo de restringir o número de

usinas eficientes e representar de maneira mais próxima a realidade dos processos produtivos das usinas.

Pode-se concluir que o modelo aplicado colabora para uma reavaliação sobre o consumo de insumos, análise dos resultados e identificação de *benchmarks* entre as unidades analisadas. Não só nas empresas siderúrgicas, mas em outras indústrias desde que adequadamente selecionadas DMUs semelhantes, além dos *inputs* e *outputs* que melhor representem o processo que se deseja analisar. Além disso, o presente estudo pode servir de comparativo ou complemento para os indicadores de eficiência existentes atualmente nas empresas.

Por fim, a partir desse trabalho conclui-se que a Análise Envoltória de Dados é um instrumento eficaz na avaliação de eficiência e que possui aplicação prática na gestão corporativa das usinas siderúrgicas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. N. Ferramenta para calcular a eficiência: um procedimento para engenharia de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 34, Passo Fundo, Set 2006. **Anais...** Passo Fundo: UFMA, 2006.
- ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. N. Sistematização das técnicas para avaliar a eficiência: variáveis que influenciam a tomada de decisão estratégica. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2, Resende/RJ, 2006. **Anais...** Resende: SEGET, 2006.
- ANDRADE, M.L. A; CUNHA, L.M.S; GANDRA, G.T. A ascensão das mini-mill no cenário siderúrgico mundial, **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 12, p. 51-76, Set. 2000.
- BADIN, N. T. **Avaliação da produtividade de supermercados e benchmarking**. 1997. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1997.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Models for the estimation of technical and scale efficiencies in data envelopment analysis**. Management Science, Austin, v. 30, p. 1078-1092, 1984.
- BARROS, E. S.; COSTA, E. F.; SAMPAIO, Y. Análise de eficiência das empresas agrícolas do pólo Petrolina/Juazeiro utilizando a fronteira paramétrica Translog. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília - DF, v. 42, n. 4, pp. 597-614, Out-Dez 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032004000400004>> Acessado em: 30 Nov 2011.
- BARROS, R. P.; FOGUEL, M.; GARCIA, G.; MENDONÇA, R. O nível do salário mínimo do Brasil frente à evidência internacional. **Mercado de Trabalho Conjuntura e Análise**, Rio de Janeiro, n. 6, v. 2, p. 23-27, Out 1997. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/bcmt/mt_006.pdf> Acessado em: 30 Nov 2011.
- BOYD, G. A.; PANG, J. X. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. **Energy Police**, Chicago, v. 28, n. 5, p. 289-296, May 2000.
- BESANKO, D.; BRAEUTIGAM, R. R. **Microeconomia**: uma abordagem completa. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- BRAGLIA, M.; ZANONI, S.; ZAVANELLA, L.. Measuring and benchmarking productive systems performances using DEA: an industrial case. **Production and Planning & Control**, London, v. 14, n. 6, p. 542-554, Sept. 2003.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota técnica DEA 02/09**: Caracterização do uso da energia no setor siderúrgico brasileiro. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20090430_2.pdf>. Acessado em: 25 jul. 2011.

CARVALHO, J. A.; SANTOS, J. H.; COSTA, J. H.; CAVALCANTE, J. Siderurgia: Análise Financeira da Indústria Brasileira em Relação à Indústria Mundial. **Revista Brasileira de Contabilidade**, Brasília – DF, v.36 , n. 168, p. 35-50, 2007.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Estudo prospectivo do setor siderúrgico 2010-2025**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Set 2009. Disponível em: < http://www.abmbrasil.com.br/epss/arquivos/documentos/2011_4_18_16_58_0_22932.pdf> Acessado em: 04 Nov 2011.

_____. **Siderurgia no Brasil 2010-2025**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Nov 2010. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/repositorio/biblioteca_cgee.html>. Acessado em: 04 Nov 2011.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, n.6, p. 429-444, 1978.

CHOWANIEC, F. et al. Steel industry in new EU member states in comparison with the global trends. **Metalurgija**, Croácia, v. 49, n. 3, p. 165-168, Mar 2010.

EMROUZNEJAD, Ali; PARKER, Barnett R.; TAVARES, Gabriel. Evaluation of research in efficiency and productivity: a survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, Piscataway, v. 42, n.3, p. 151-157, Set 2008.

EMROUZNEJAD, Ali; WITTE, Kristof. COOPER-framework: a unified process for non-parametric projects. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 207, n.3, p. 1573-1586, Dez 2010.

FARREL, M.J. The measurement the productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society Series A**, London, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957.

FARIA, L. S. **Análise do desempenho do setor siderúrgico brasileiro de 1998 a 2004 utilizando a técnica de Análise Envoltória de Dados baseada em índices econômico-financeiros**. 2006. 171p. Dissertação (Mestrado em Economia) Programa de Pós-Graduação em Economia– Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

FAUTH, K. M. **Eficiência relativa interna e externa de agências bancárias do Bannrisul: um estudo baseado em Análise Envoltória de Dados**. 2010. 76p. Dissertação (Mestrado em Economia) Programa de Pós-Graduação em Economia – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

FERREIRA, C. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicação**. Minas Gerais: Editora UFV, 2009.

FONSECA, P.M.; ALECRIM, M.A.; SILVA, M.M. Siderurgia: Dimensionamento do Potencial de Investimento. **BNDES -Banco Nacional do Desenvolvimento**, 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/Livro/200706_26.html>. Acessado em: 08 Ago 2011.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL - FDC. **Ranking das Transacionais Brasileiras**, 2010. Disponível em: < http://www.fdc.org.br/pt/Documents/ranking_transnacionais_2010.pdf>. Acessado em: 05 Out 2011.

GERDAU. **Arquivos SEC - Formulário de Consolidação 20F**, 2009. Disponível em: <<http://www.gerdau.com/investidores/informacoes-financeiras-arquivos-sec.aspx>>. Acessado em: 03 Out 2011.

_____. **Arquivos SEC - Formulário de Consolidação 20F**, 2010a. Disponível em: <<http://www.gerdau.com/investidores/informacoes-financeiras-arquivos-sec.aspx>>. Acessado em: 05 Jun 2011.

_____. **Formulário de Referência Gerdau S.A.**, 2011a. Disponível em: <<http://www.gerdau.com/investidores/informacoes-financeiras-arquivos-cvm.aspx>>. Acessado em: 05 Jan 2012.

_____. **Resultados trimestrais – 3º Trimestre de 2011 da Gerdau S.A. consolidado**, Out 2011b. Disponível em: <<http://v3.gerdau.infoinvest.com.br/ptb/5022/2011.09%20-%20Resultados%20Trimestrais%20GSA%20portugu%EAAs.pdf>>. Acesso em: 10 Nov 2011.

_____. **Resultados trimestrais – 4º Trimestre de 2010 da Gerdau S.A. consolidado**, Dez 2010b. Disponível em: <<http://v3.gerdau.infoinvest.com.br/ptb/5019/2010.12%20-%20Resultados%20Trimestrais%20GSA%20portugu%EAAs.pdf>>. Acesso em: 03 Mar 2011.

GILLEN, D.; LALL, A. Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. **Transportation Research**, Vancouver, v. 33, n.4, p. 261–273, Dez 1997.

HIDALGO, I. et al. Technological prospects and CO2 emission trading analyses in the iron and steel industry: a global model. **Energy**, Sevilha, v. 30, n. 5, p. 583–610, 2005.

INSTITUTO AÇO BRASIL - IAB. **Indústria do Aço e o Mercado**. 2010b. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp>>. Acesso em: 01 Ago 2011.

_____. **Recorde de consumo e importações de aço, mas sobra capacidade na indústria nacional**. 2010a. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/AcoBrasil%20Informa_Dez10_web.pdf>. Acesso em: 01 Mar 2011.

_____. **Sustentabilidade da indústria do aço**. 2009. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp>>. Acesso em: 11 Mar 2010.

JOHANNPETER, G. G. et al. **Chama Empreendedora: a história e a cultura do Grupo Gerdau**. São Paulo: Prêmio Editorial, 2001.

KASSAI, S. **Utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) na análise das demonstrações contábeis**. 2002. 350p. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria) Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis e Atuária – Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

KIM, J. W. et al. Sources of productive efficiency: international comparison of iron and steel firms. **Resources Policy**, Guildford, v. 31, n. 4, p. 239-246, Mar 2006.

- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- LIEBERMAN, M. B.; JOHNSON, D. R. Comparative productivity of Japanese and U.S. steel producers, 1958-1993. **Japan and the World Economy**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 1-27, Jan 1999.
- LINS, M. P. E; ALMEIDA, B. F; BARTHOLO JR, R. Avaliação de desempenho na pós-graduação utilizando a análise envoltória de dados. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, Brasília – DF, v. 2, n. 2, p. 41-56, Mar 2005.
- MA, J. et al. Technical efficiency and productivity change of China's iron and steel industry. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 76, n. 3, p. 293-312, 2002.
- MACEDO, M. A.; SANTOS, R. M.; SILVA, F. F. Avaliação de desempenho organizacional: utilizando análise envoltória de dados (DEA) em informações financeiras e não financeiras. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 24, Florianópolis, Nov 2004. **Anais...** São Paulo: ABEPRO, 2004.
- MAHADEVAN, R. A DEA approach to understanding the productivity growth of Malaysia's manufacturing industries. **Asia Pacific Journal of Management**, Brisbane, v. 19, p. 587-600, 2002.
- MARIANO, I. O. **Análise da eficiência do setor siderúrgico brasileiro através do modelo DEA – Data Envelopment Analysis**. 2010. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Econômicas) Curso de Ciências Econômicas – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, 2010.
- MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. N. Peculiaridades da Análise por Envoltória de Dados. In: Simpósio de Engenharia de Produção – SIMPEP, 12, Bauru, Nov 2006. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2006.
- MEMOLI, F.; FERRI, M. B.; FREITAS, J. V. Aumento das plantas Consteel no mundo: flexibilidade para a carga contínua de gusa líquido e sucata no forno elétrico a arco agora na siderurgia brasileira. **Tecnol. Metal. Mater. Miner**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 54-60, Jul.-Set. 2009.
- MENDO, J. **Estudo da Reciclagem de Metais no País**. Relatório Técnico 83, Nov 2009. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/estudos_consolidados/P57_RT83_Reciclagem_de_Metais_no_Paxs.pdf>. Acessado em: 04 Dez 2011.
- MILLER, R. L. **Microeconomia: teoria, questões e aplicações**. 1.ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.
- MINATO, E. **Avaliação de produtividade de uma indústria na linha do tempo utilizando DEA**. 2006. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

MORILHAS, L. J., FEDICHINA, M. H., GOZZI, S. Estratégia de expansão via Internacionalização: Um estudo de caso da Gerdau no continente americano. In: Encontro de Estudos em Estratégia, 3, São Paulo, 2007. **Anais...** Curitiba, PR: Anpad, 2007.

NIEDERAUER, C. P. **Avaliação dos bolsistas de produtividade em pesquisa da Engenharia de Produção utilizando *Data Envelopment Analysis***. 1998. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1998.

DE PAULA, G. M. **Cadeia Produtiva da Siderurgia. Estudo de Competitividade por Cadeias Integradas: Um Esforço Coordenado de Criação de Estratégias Compartilhadas**. Campinas: Instituto de Economia, Unicamp, 2002. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/report/EstudoCompetitividadeCadeias070423.pdf>> Acesso em: 17 Fev 2011.

PAIVA JÚNIOR, H. **Avaliação de desempenho em ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/AHP**. 2000. 188p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2000.

PEÑA, C. R. Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA). **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, Jan/Mar 2008.

PERENTELLI, N. D. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados no estudo da eficiência econômico-financeira da indústria siderúrgica brasileira nos anos de 2004 a 2005**. 2007. 100p. Dissertação (Mestrado em Administração) Programa de Pós-Graduação em Administração - Universidade Metodista de São Paulo. São Bernardo do Campo, SP, 2007.

PICCININI, V.C.; OLIVEIRA, S.R.; RÜBENICH, N.V. A siderurgia brasileira: do protecionismo à internacionalização. In: Congresso do Instituto Franco-Brasileiro de Administração de Empresas, 5, Grenoble, França, Mai 2009. **Anais...** São Paulo: IFBAE, 2009.

RAMOS, M. A. **O desempenho do setor siderúrgico brasileiro: uma aplicação da Análise por Envoltória de Dados (DEA)**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração. Faculdade Novos Horizontes, Belo Horizonte, MG, 2007.

RAY, S. C.; KIM, H. J. Cost efficiency in the US steel industry: a nonparametric analysis using data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 80, n. 3, p. 654-671, Fev 1995.

RAY, S.C.; SEIFORD, L.M.; ZHU, J. Market Entity Behavior of Chinese State-owned Enterprises. **Omega - International Journal of Management Science**, Philadelphia, v. 26, n. 2, p. 263-278, 1998.

ROUSE, P.; HARRISON, J.; CHEN, L. Data envelopment analysis: a practical tool to measure performance. **Australian Accounting Review**, Sydney, v.20, n. 53, p. 165-177, 2010.

SACCONATO, A. L.; MENEZES FILHO, N.A. A diferença salarial entre os trabalhadores americanos e brasileiros: uma análise com micro dados. **PPE - Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v.35, n. 3, p. 333-354, Dez 2005.

VERGÉS, J. **Empresas Públicas: cómo funcionan, comparativamente a las privadas. Eficiencia, eficacia y control**. Universidad Autónoma de Barcelona. Ministerio de economía y hacienda. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales, 2008.

WEI, Y. M.; LIAO, H.; FAN, Y. An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector. **Energy**, Amsterdam, v. 32, n. 12, p. 2262-2270, Nov 2007.

WESSELS, W. J. **Microeconomia: teoria e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2002.

WORLDSTEEL ASSOCIATION. **News releases 2010**. 2010b. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/?action=newslist&jaar=2010>> Acesso em: 11 Nov 2011.

_____. **World steel top producers 2010**. 2010a. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/?action=programs&id=53>> Acesso em: 11 Nov 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YUNOS, J. M.; HAWDON, D. The efficiency of the National Electricity Board in Malasya: an intercountry comparison using DEA. **Energy Economics**, Guildford, 19, p. 255-269, 1999.