

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

WALESKA EFFGEN DE OLIVEIRA

Custos médios e marginais da Placa Comercial

Belo Horizonte

2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do ICEx - UFMG

Oliveira, Waleska Effgen de

O48c Custos médios e marginais da Placa Comercial. /
Waleska Effgen de Oliveira. — Belo Horizonte, 2016.
i x, 51. : il. ; 29cm

Monografia (Especialização) – Universidade federal de
Minas Gerais – Departamento de Ciência da
Computação

Orientador: Anderson Laércio Galindo Trindade

1. Computação. 2. Custo marginal. 3. Custo médio. 4.
Placa comercial. I. Orientador. II. Título

519.6*61(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTMIZAÇÃO DE SISTEMAS: ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
GESTÃO INDUSTRIAL


**DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS MÉDIOS E MARGINAIS
DA PLACA COMERCIAL**

Waleska Effgen de Oliveira

Monografia apresentada aos Senhores:


Prof. Anderson Laécio Galindo Trindade - Orientador
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG


Prof. Marcelo Azevedo Costa
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG


Prof. Roberto Costa Quinino
Departamento de Estatística - UFMG

Belo Horizonte, 29 de novembro de 2016

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Especialização em Otimização de Sistemas

Custos médios e marginais da Placa Comercial

por

Waleska Effgen de Oliveira

Monografia de final de Curso

Orientador: Prof. Dr. Anderson Laécio Galindo Trindade

Belo Horizonte

2016

WALESKA EFFGEN DE OLIVEIRA

Custos médios e marginais da Placa Comercial

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Otimização de Sistemas do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista Otimização de Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Anderson Laécio Galindo Trindade

Belo Horizonte

2016

RESUMO

Nos últimos anos, as indústrias siderúrgicas têm sofrido com a deterioração dos fatores macroeconômicos do país e com o aumento do volume de importações de produtos siderúrgicos. Em um cenário de margens cada vez mais reduzidas, é de suma importância o conhecimento dos custos médio e marginal da placa para auxiliar na tomada de decisões quanto ao aceite ou não de consultas de compra advindas de um mercado cada vez mais competitivo.

A Usiminas já dispõe de um modelo de custo marginal que abrange as áreas de Redução e Aciaria cuja resposta é o custo marginal da placa comercial. Neste estudo foram avaliados os impactos do consumo de sucatas no rendimento aço líquido/carga metálica e no consumo de outros materiais refrigerantes (sínter e carepa) no convertedor de forma a incluí-los no modelo.

Foi observada uma correlação direta entre a porcentagem de sucata e o rendimento aço líquido/carga metálica nas aciarias de Ipatinga, que está de acordo com a literatura, pois quanto maior a proporção de sucata na carga metálica do convertedor (teor de ferro maior do que o do gusa líquido), maior o rendimento aço líquido/carga metálica. A correlação obtida, neste caso, foi de 67,62%. Com a inclusão do impacto no modelo, para porcentagens de sucata abaixo de 14,0%, não houve muita diferença no custo médio e no custo marginal da placa com e sem impacto no rendimento. Entretanto, para porcentagens acima de 14,0% na carga metálica, houve diferença de 3 R\$/t e de 2 R\$/t no custo médio e no custo marginal da placa, respectivamente, quando comparada com os custos sem impacto do rendimento.

Para os dados de consumo de outros materiais refrigerantes (sínter e carepa) não foram obtidas correlações com o consumo de sucata. Além do consumo de refrigerantes no convertedor, outros fatores afetam o balanço térmico, como por exemplo, a temperatura e a qualidade do gusa líquido, a adição de ligas como Fe-Si, a utilização de calcário, entre outros.

O modelo de custo marginal tem se mostrado muito útil na tomada de decisões possibilitando realizar cada vez mais análises mais apuradas.

Palavras-chave: custo marginal, custo médio, placa comercial.

ABSTRACT

In recent years, the steel industry has suffered from a recent economic downturn and the increase in the importation of foreign of steel products. In a continued scenario with a reduction of profit margins, it is crucial to understand the average and marginal slab cost to inform decision making in hiring business consultants.

Usiminas already has a marginal cost model that covers ironmaking and steelmaking, whose answer is the marginal cost of commercial slab. In this study, it was evaluated the impacts of scrap steel consumption in metallic yield and in consumption of other refrigerants materials (sinter and scale) in the converter in order to include them in the model.

A direct correlation between percentage of scrap and metallic yield in the Ipatinga steelworks was observed, which is in agreement with the literature, since the greater the proportion of scrap in the metallic burden of the converter (iron content greater than the hot metal), greater metallic yield. The correlation obtained in this case was 67.62%. With the inclusion of the impact in the model for scrap percentages of less than 14.0%, there was not much difference in the average cost and the marginal cost of slab with and without impact on metallic yield. However, in the percentages up to 14.0% in metallic burden, there was a difference of 3 R\$/ton and 2 R\$/ton in the average cost and marginal cost of the slab, respectively, when compared with the costs without metallic yield impacting.

Consumption of other obtained refrigerant materials (including sinter and scale) were not correlated with scrap consumption. In addition to others refrigerants materials consumption in the converter, other factors affect the thermal balance, for example, temperature and quality of hot metal, the addition of alloys, the use of limestone, among others.

Keywords: marginal cost, average cost, commercial slab.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Maiores produtores de aço no mundo em 2015.	11
Figura 2 – Comparação entre contabilidade financeira e gerencial.....	14
Figura 3 – Representação gráfica dos custos variáveis e dos custos fixos.....	15
Figura 4 – Representação gráfica da curva de custos totais.	16
Figura 5 – Representação gráfica das tangentes à curva de custos totais.....	17
Figura 6 – Representação gráfica da curva de custos marginais.	17
Figura 7 – Representação esquemática do fluxo de fabricação do aço.	18
Figura 8 – Modelo de custo marginal da área de Redução.....	27
Figura 9 – Modelo de custo marginal da placa lingotada.....	30
Figura 10 – Modelo de custo marginal da placa acondicionada.....	32
Figura 11 – Box Plot para os dados de sucata da Aciaria 1.....	35
Figura 12 – Box Plot para os dados de outros materiais refrigerantes da Aciaria 1.....	35
Figura 13 – Box Plot para os dados de rendimento da Aciaria 1.	36
Figura 14 – Box Plot para os dados de sucata da Aciaria 2.....	36
Figura 15 – Box Plot para os dados de outros materiais refrigerantes da Aciaria 2.....	37
Figura 16 – Box Plot para os dados de rendimento da Aciaria 2.	37
Figura 17 – Evolução do consumo de sucata e rendimento da Aciaria 1.....	38
Figura 18 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 1.	38
Figura 19 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e rendimento da Aciaria 1.....	39
Figura 20 – Evolução do consumo de sucata e rendimento da Aciaria 2.....	40
Figura 21 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 2.	40
Figura 22 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e rendimento da Aciaria 2.....	41
Figura 23 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento das Aciarias.	42
Figura 24 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e rendimento das Aciarias.....	42
Figura 25 – Evolução do consumo de sucata e refrigerantes da Aciaria 1.....	45
Figura 26 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o consumo de refrigerante da Aciaria 1.....	45
Figura 27 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e outros materiais refrigerantes na Aciaria 1.....	46
Figura 28 – Evolução do consumo de sucata e refrigerantes da Aciaria 2.....	47

Figura 29 – Regressão linear entre o consumo de sucatas o consumo de outros materiais refrigerantes na Aciaria 2.....	47
Figura 30 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e outros materiais refrigerantes na Aciaria 2.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos custos médios da placa comercial sem e com impacto no rendimento com a variação do percentual de sucata.....	43
Tabela 2 – Resultados dos custos marginais sem impacto e com impacto para os incrementos de produção por meio do aumento da porcentagem de sucata.....	44

LISTA DE SIGLAS

IABR	Instituto Aço Brasil
WSA	World Steel Association
AF	Alto-forno
AC	Aciaria
CMe	Custo médio de produção [\$/unidade produzida]
CMg	Custo marginal de produção [\$/unidade produzida]
CT(Q)	Custo total de produção [\$/unidade produzida]
CVT(Q)	Custo variável total [\$/unidade produzida]
PCI	Injeção de carvão pulverizado

SUMÁRIO

1	Introdução	10
1.1	Objetivos.....	13
1.1.1	Objetivos Específicos	13
1.2	Organização do Trabalho	13
2	Revisão bibliográfica	14
2.1	Contabilidade Gerencial	14
2.2	Custo Médio	15
2.3	Custo Marginal	16
2.4	Fabricação do Aço	18
2.5	Carga Sólida no Convertedor	20
2.6	Regressão Linear e Correlação	21
3	Modelo de Custo Marginal	25
4	Estudo de Caso.....	34
4.1	Resultados.....	34
4.1.1	Análise estatística dos dados	34
4.1.2	Sucata e rendimento de aço líquido/carga metálica	38
4.1.3	Sucata e consumo de outros materiais refrigerantes.....	44
5	Conclusões	49
6	Referências Bibliográficas	50

1 INTRODUÇÃO

A Usiminas entrou em operação em 1962. Desde então, é um dos maiores grupos siderúrgicos brasileiros com atuação em diversos segmentos da cadeia de valor do aço. Tornou-se a primeira estatal privatizada em 24 de outubro de 1991. Formada por 13 empresas, a Usiminas atua em toda a cadeia produtiva do aço por meio de cinco unidades de negócios: siderurgia, mineração e logística, transformação do aço, bens de capital e soluções e serviços. A empresa extrai o minério de ferro, transforma-o em aço, beneficia o produto de acordo com as especificações dos clientes, fornece transporte por via rodoviária, ferroviária ou marítima e entrega bens acabados, como equipamentos e estruturas metálicas de grande porte. A Usiminas atende mercados de alto valor agregado, como o automotivo e o de máquinas e de equipamentos. Possui 2 usinas siderúrgicas, uma localizada em Ipatinga (MG) e a outra em Cubatão (SP) com capacidade para produzir 9,5 milhões de toneladas de aço por ano. Os principais acionistas são o Grupo Nippon Steel (29,45%) e Ternium (27,66%).

Na Figura 1 está apresentado o gráfico com os 15 países maiores produtores de aço no mundo em 2015. Estes países juntos correspondem a 90 % da produção total de aço no mundo, sendo que somente a China é responsável por aproximadamente 50% dessa produção. O Brasil foi o 8º produtor de aço com 33,3 milhões de t/ano. Em comparação com o ano de 2014, houve um recuo de 1,9% quando foram produzidas 33,9 milhões de t/ano. Segundo dados do IABR (Instituto Aço Brasil), o Brasil tem uma capacidade instalada de produção de aço de 48,9 milhões de t/ano, sendo que deste total 9,5 milhões de t/ano pertencem a Usiminas. Atualmente, a capacidade instalada do setor siderúrgico brasileiro é maior do que suas vendas internas. Em 2015, a Usiminas optou pelo desligamento temporário das áreas de Redução e Aciaria da Usina de Cubatão, de forma a adequar a sua capacidade de produção à demanda atual de mercado. Essa é uma questão enfrentada não somente pelo Brasil, mas também por outros países, já que existe um excedente de oferta de aço no mercado mundial. Em 2016 já é previsto um excedente de aproximadamente 700 milhões de t/ano, dentre dos quais 400 milhões pertencem a China.

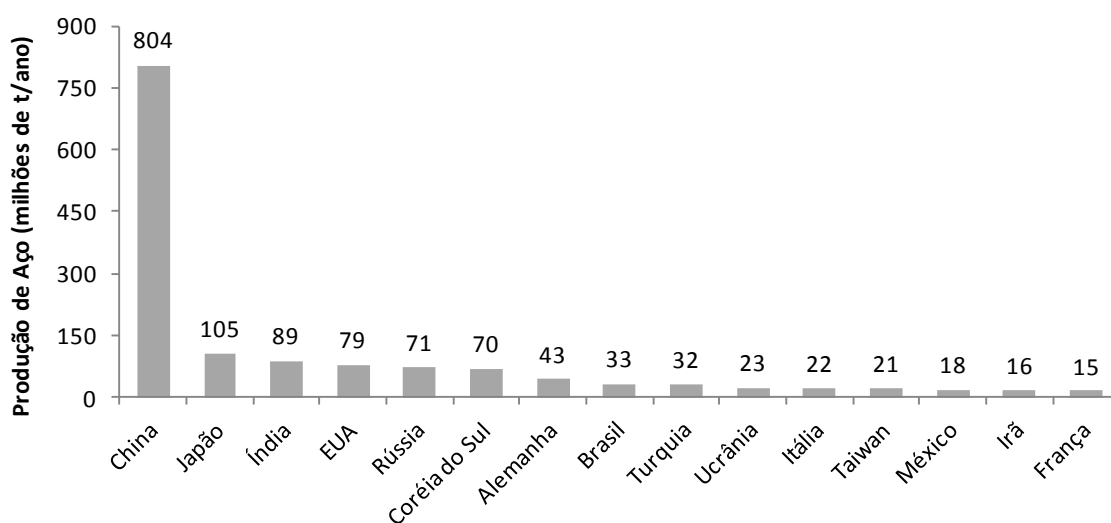


Figura 1 – Maiores produtores de aço no mundo em 2015.

Fonte: World Steel Association (2016)

A economia brasileira nos últimos dois anos foi marcada pela deterioração dos fatores macroeconômicos. Em 2015, todos os indicadores socioeconômicos registraram nítida piora, como aumento da taxa de desemprego, queda do poder aquisitivo da população, aumento dos índices de pobreza e queda da confiança dos agentes econômicos para patamares mínimos históricos (IABR, 2016).

As indústrias de transformação foram as mais impactadas dentre os setores produtivos, tendo sua participação no PIB reduzida para 11,4% em 2015 (IBGE) – o menor patamar registrado desde 1947 (início da série histórica) (IABR, 2016).

As empresas brasileiras produtoras de aço tem passado por grandes dificuldades nos últimos anos. Houve retração de vendas em diversos segmentos de consumo de aço. As vendas no mercado interno caíram 16,3% em 2015, após o recuo de 11,0% verificado em 2014 em comparação ao ano anterior. Em relação ao consumo aparente, a queda de 8,6% em 2014 quase dobrou em 2015 (-16,8%) (IABR, 2016). Além disso, o mercado nacional tem sofrido com o aumento das importações de produtos siderúrgicos e de produtos intensivos em aço, como máquinas e equipamentos, e uma conseqüente queda dos preços praticados. Práticas concorrenciais predatórias e subsídios concedidos por alguns países e questões conjunturais e estruturais do Brasil como apreciação cambial, carga tributária elevada, juros elevados, alto custo de energia e infraestrutura deficiente estão impossibilitando a competitividade dos produtos nacionais.

Diante deste cenário, o mercado externo se tornou uma opção para vendas e a Usiminas passou a considerar o deslocamento de parte de sua oferta para esse mercado. Até recentemente na Usiminas, as decisões sobre a venda de produtos eram baseadas apenas no custo médio de produção, uma vez que a margem de lucro final era sempre positiva. Contudo, no cenário atual de margens cada vez mais reduzidas devido às concorrências, principalmente com os produtos chineses, surgiu a necessidade de se criar um modelo que pudesse avaliar melhor as margens de lucros para cada mercado e servir de base para a tomada de decisões quanto ao aceite ou não de consultas de compra advindas de clientes do mercado externo.

Diante disto foi desenvolvido pela Engenharia Industrial um modelo de Custo Marginal. Este modelo abrange as áreas de Redução (Sinterização, Coqueria e Alto-Forno) e Aciaria. Considerando a importância da resposta do modelo para a tomada de decisões, o objetivo deste estudo é o aprimoramento do modelo já existente com a inclusão de alguns impactos que ocorrem no processo de Aciaria e que podem influenciar nos custos.

1.1 Objetivos

Em vista do exposto, deseja-se, neste trabalho, aprimorar a ferramenta de modelagem de custo marginal existente na Usiminas com a inclusão de alguns impactos operacionais no processo de Aciaria que podem afetar o custo e influenciar na tomada de decisões.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Incluir no modelo de custo marginal o impacto do rendimento carga metálica/aço líquido com o consumo de sucatas no convertedor;
- Incluir a correlação entre o consumo de outros materiais refrigerantes com o consumo de sucata no convertedor.

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho compreende a contextualização do tema, o desenvolvimento da fundamentação teórica, a apresentação do modelo de custo marginal, a metodologia para o cumprimento dos objetivos propostos, os resultados obtidos e a conclusão.

O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica para o desenvolvimento deste trabalho, os quais foram contemplados os conceitos de custos médios e de custos marginais, uma breve descrição do processo de fabricação de aço, a utilização de carga sólida no convertedor da aciaria e, os conceitos relevantes de correlação e regressão linear. O Capítulo 3 apresenta o modelo de custo marginal existente na Usiminas. O Capítulo 4 apresenta os resultados das análises de dados referentes ao consumo de carga sólida no convertedor, ao rendimento aço líquido/carga metálica e ao consumo de outros materiais refrigerantes. No Capítulo 5 é abordada a conclusão do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contabilidade Gerencial

A contabilidade gerencial e a financeira são segmentos da ciência contábil que visam suprir a administração de informações em seu processo decisório. A principal diferença entre elas é que a gerencial atende às necessidades do público interno da organização, como por exemplo gerentes, enquanto que a financeira fornece informações para o público externo, ou seja, acionistas e credores. Em virtude dessa diferença, a contabilidade gerencial enfatiza as decisões que afetam o futuro da empresa, a forma como são realizadas as atividades e o desempenho no nível do segmento. Já a financeira enfatiza as consequências de atividades passadas, a precisão e o desempenho em toda a organização.

Na Figura 2 estão apresentadas as sete principais diferenças entre a contabilidade financeira e a gerencial de acordo com Garrison *et al.*, 2013.



Figura 2 – Comparação entre contabilidade financeira e gerencial.

Fonte: Garrison *et al.*, 2013

De acordo com a Figura 2, a contabilidade gerencial fornece informações com o intuito de auxiliar os gerentes em três atividades essenciais: planejamento, controle e tomada de decisões. Os objetivos e a forma como alcançá-los são estabelecidos na etapa do planejamento. No controle, é realizado o *feedback* para assegurar que o plano seja

adequadamente executado e, se necessário, modificado caso as circunstâncias se alterem. A tomada de decisões envolve optar por uma ação dentre as alternativas propostas.

O modelo de custo marginal da placa comercial existente na Usiminas é uma ferramenta de contabilidade gerencial, pois auxilia os gestores na tomada de decisões que afetarão o futuro. Este modelo é alimentado com informações provenientes de relatórios internos à empresa bem como informações provenientes da contabilidade financeira.

2.2 Custo Médio

Em economia, o custo médio ou custo unitário é igual à soma de todos os custos dividida pelo número de bens produzidos. Nas decisões de produção, é importante a distinção entre custos de curto prazo e os de longo prazo. Os custos de longo prazo são caracterizados como aqueles em que todos os insumos são variáveis, enquanto que os de curto prazo se caracterizam com pelo menos um insumo é custo fixo (BESANKO *et al.*, 2004). Neste estudo foram abordados os custos médios como sendo de curto prazo. O custo médio pode ser dividido em dois componentes: custos variáveis e custos fixos.

Os custos variáveis são os custos que dependem diretamente do volume de produção, quanto maior a quantidade produzida maior o seu consumo. Os custos variáveis são representados, basicamente, pelos materiais utilizados no processo de produção (isto é, matérias-primas, utilidades, entre outros). Unitariamente, os custos variáveis são fixos. Os custos variáveis estão representados pela curva CV na Figura 3.

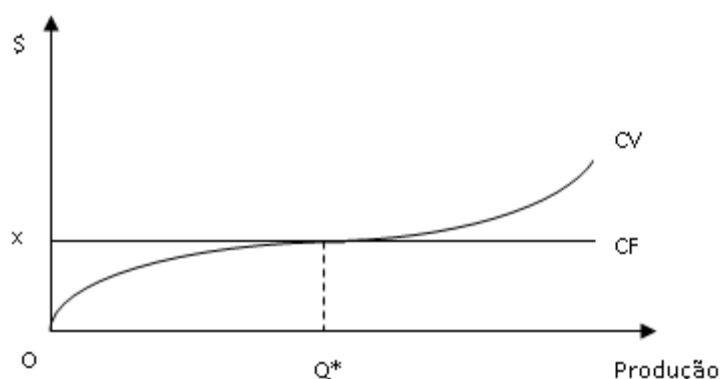


Figura 3 – Representação gráfica dos custos variáveis e dos custos fixos.

Fonte: Iunes (1995)

Pode-se observar pela Figura 3 que no início de um processo produtivo, os insumos variáveis possuem produtividade crescente, já que têm à sua disposição recursos de capital ainda subutilizados. Essa crescente produtividade faz com que os custos variáveis cresçam a uma taxa menor à medida que se aumenta a produção. Entretanto, como o montante de capital disponível é fixo a curto prazo, haverá um ponto a partir do qual a produtividade destes insumos variáveis começará a declinar. Este ponto de inflexão é representado por Q^* na Figura 3. A partir deste ponto, os custos variáveis começam a crescer mais rapidamente (IUNES, 1995).

Por outro lado, o aluguel do galpão em certo mês é de determinado valor, independente de aumentos ou diminuições da produção mensal. Estes custos são denominados de custos fixos. Em relação à quantidade total produzida, o valor total dos custos fixos é fixo, mas o valor unitário é variável. Os custos fixos estão representados pela linha horizontal CF na Figura 3 (IUNES, 1995).

A curva de custo total CT, representada na Figura 4, é o resultado da soma dos custos fixos e variáveis, que, graficamente, é representada por um deslocamento vertical da curva CV igual à distância OX (IUNES, 1995).

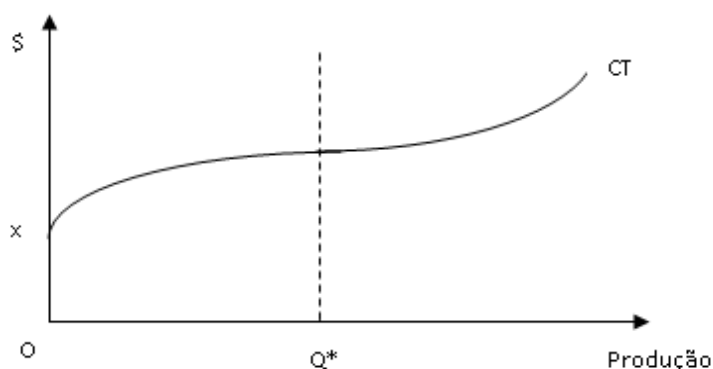


Figura 4 – Representação gráfica da curva de custos totais.

Fonte: Iunes (1995)

2.3 Custo Marginal

Em economia existe outro tipo de custo, denominado custo marginal. Pode-se definir este tipo de custo como a variação do custo total com uma pequena variação da produção. Em outras palavras, o custo marginal corresponde ao acréscimo dos custos totais

de produção quando se aumenta a quantidade produzida em uma unidade (VENDRUSCOLO, 2007).

O custo marginal pode ser visto geometricamente como a declividade da curva de custo total em cada ponto. As variações na declividade podem ser observadas pelas tangentes traçadas na curva de custo total representadas pelos pontos C, D e E na Figura 5. Pode-se observar que no ponto C, a declividade da curva de custo total é alta e, portanto, o custo marginal também é elevado, enquanto que no ponto D a declividade é menos acentuada, o que implica em um custo marginal inferior. Da mesma forma que no ponto C, no ponto E a curva de custo total é bastante íngreme. A curva de custo marginal tem o formato de U devido ao formato da curva de custo total, Figura 6 (IUNES, 2005).

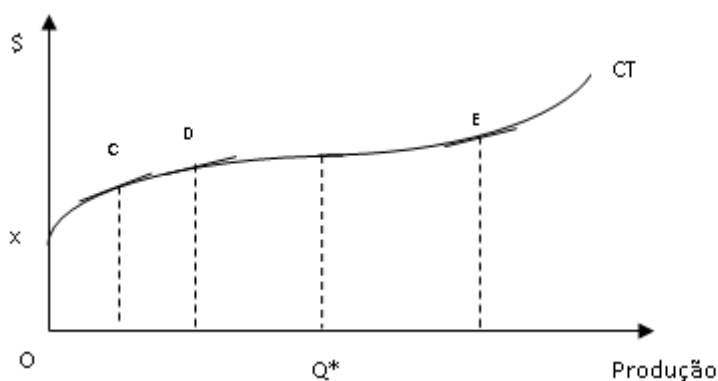


Figura 5 – Representação gráfica das tangentes à curva de custos totais.

Fonte: Iunes (1995)

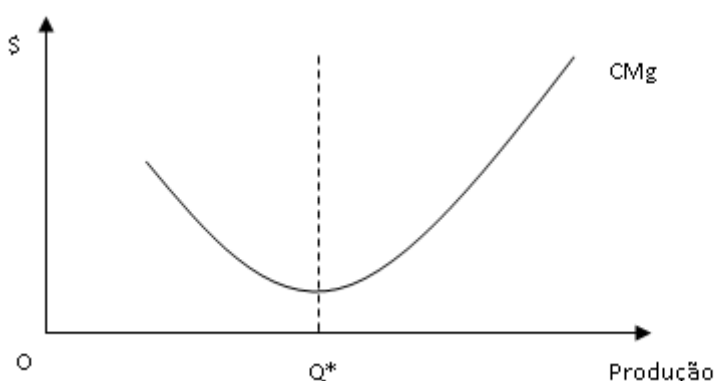


Figura 6 – Representação gráfica da curva de custos marginais.

Fonte: Iunes (1995)

Matematicamente, a função de custo marginal é expressa como a derivada da função de custo médio total sobre a quantidade total produzida, como segue:

$$CM = \frac{\Delta C_T}{\Delta Q} \quad (1)$$

Em que: CM: custo marginal
 ΔC_T : variação dos custos totais
 ΔQ : variação na quantidade produzida

Em uma típica situação, o custo marginal começa por decrescer à medida que se aumenta a quantidade produzida, devido ao fato dos custos fixos diluírem à medida que vai se aumentando a produção (efeito de escala). Entretanto, a partir de certo aumento de produção, os ganhos proporcionados pelo efeito de escala deixam de ser suficientes para contrariar os acréscimos de custos originados pelo aumento dos próprios custos variáveis, originando um aumento dos custos marginais. Este aumento dos custos variáveis é consequência da Lei das Produtividades Marginais Decrescentes cujos efeitos são tanto maiores, quanto maiores forem as quantidades produzidas.

Sempre que o custo marginal for inferior ao custo total médio, o custo total médio estará diminuindo. Se o custo marginal for superior ao custo total médio, o custo total médio estará aumentando. No ponto em que as curvas de custo marginal e de custo médio se cruzarem obtém-se o nível de escala eficiente, ou seja, obtém-se o nível de produção com o menor custo por unidade produzida.

2.4 Fabricação do Aço

O processo de fabricação da placa consiste, basicamente, dos seguintes processos: Redução (Coqueria, Sinterização e Altos-Fornos), Refino Primário e Secundário (Aciaria). Após estes processos, a placa é enviada para a inspeção e ou acondicionamento de placas ou para as Laminações (Laminação a Quente e Laminação a Frio). Na Figura 7 está apresentado esquematicamente o fluxo da fabricação do aço.

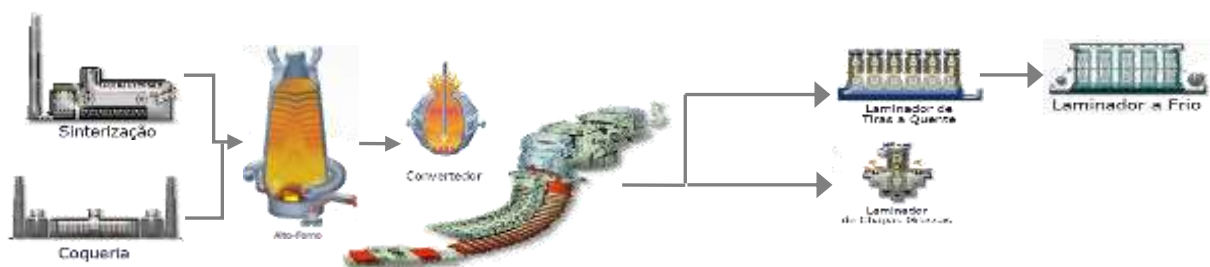


Figura 7 – Representação esquemática do fluxo de fabricação do aço.

Fonte: Campos (1980)

A seguir foi feita uma breve descrição dos processos para a obtenção da placa.

O alto-forno é um reator para a produção de ferro gusa. O gusa é uma liga obtida no estado líquido composta de aproximadamente 94,5% de ferro e 4,5% de carbono e outros elementos. A carga sólida do alto-forno é composta por materiais portadores de ferro (minério granulado, sinter e pelota) e de carbono (coque metalúrgico ou carvão vegetal e combustível injetado pelas ventaneiras). O gusa produzido é transportado para as Aciarias no estado líquido a temperaturas de até 1500°C em equipamentos denominados carro torpedo (GEERDES *et al.*, 2009).

Os processos de refino na Aciaria consistem na adequação da composição química para valores compatíveis com as propriedades requeridas. É a transformação do gusa em aço. O refino primário (pré-tratamento de gusa, sopro de oxigênio no convertedor) tem como objetivo básico o ajuste dos teores de carbono, enxofre e fósforo. O pré-tratamento de gusa tem sido utilizado para melhorar o método de refino primário no convertedor e reduzir o seu custo. As usinas integradas utilizam estações de dessulfuração por meio da injeção de agentes químicos, à base de cal e magnésio em carros torpedo e/ou em painéis de gusa nas aciarias (MALYNOWSKYJ, 2007).

As principais matérias-primas utilizadas na fabricação do aço são o gusa líquido, gusa sólido, sucatas de aço e de ferro fundido, minério de ferro, cal fluorita e oxigênio. O gusa líquido constitui a parte predominante da carga metálica do convertedor, sendo o seu conteúdo térmico, em termos de composição química e temperatura, responsável pela quase totalidade do fornecimento de calor ao processo. A proporção do gusa líquido na carga metálica do convertedor depende de sua composição química e temperatura, da qualidade do aço a ser produzido, da qualidade da carga sólida e, também, das dimensões do convertedor. A sucata de aço constitui a maior parte da carga sólida do convertedor. As dimensões da sucata devem permitir a sua total fusão durante o sopro e não causar danos ao refratário do convertedor durante o seu carregamento. Além disso, a sucata deve estar completamente seca, de forma a evitar o risco de explosões durante o carregamento do gusa líquido, feito somente após o carregamento da carga sólida. A cal é adicionada no convertedor para a escorificação da sílica formada pela oxidação do silício da carga metálica e para a remoção do fósforo e enxofre. A utilização do minério de ferro pode ter duas funções: acelerador da dissolução da cal e/ou como material refrigerante. A carepa de laminação é, frequentemente, utilizada em substituição ao minério de ferro, pois possui vantagens do ponto de vista econômico e do processo e não possui as impurezas existentes

no minério. Outro material amplamente utilizado como refrigerante é o sinter. No processo do convertedor, geralmente, utiliza oxigênio de alta pureza (maior que 99%) para evitar teores de nitrogênio mais elevados no aço, o que é extremamente prejudicial para a sua qualidade (MALYNOWSKYJ, 2007).

No refino secundário (injeção de argônio, desgaseificação à vácuo, dessulfuração de aço e globulização) são realizados ajustes finos nos teores de hidrogênio, carbono, enxofre e na quantidade e forma das inclusões. Esta etapa é realizada fora dos convertedores. O aço líquido produzido é transferido para as panelas, que além de possuir o papel de transporte do aço líquido para a etapa seguinte, também possui a função de reator metalúrgico nos processo de refino secundário (BOLOTA, 2007).

A etapa seguinte é o processo de lingotamento contínuo do aço, que é o último estágio em aciaria onde se trabalha com metal ainda no estado líquido. A principal função é solidificar o aço, em forma de placas, de tal maneira que possa ser utilizado nas etapas seguintes da cadeia produtiva (CAMPOS, 1980).

2.5 Carga Sólida no Converteedor

A utilização de material refrigerante na carga metálica do convertedor é imprescindível para o controle da temperatura do aço. Os materiais refrigerantes que compõem a carga sólida carregada no convertedor são, principalmente, as sucatas de aço e as sucatas de gusa, e em menor quantidade o minério de ferro, o sinter, a carepa e o briquete refrigerante, estes últimos denominados no estudo como outros materiais refrigerantes. Os dois tipos de sucata tanto podem ser de geração própria quanto de aquisição de terceiros.

A sucata de aço é um produto de alto valor agregado e bastante disputado pelas siderúrgicas. O total de sucata de aço reciclada anualmente é em torno de metade da produção mundial. Normalmente, a sucata constitui a maior parte da carga sólida do convertedor, sendo em alguns casos imprescindível para o controle da temperatura. A sucata de aço, em geral, é proveniente dos processos subsequentes, sob a forma de placas ou lingotes fora das especificações, material de corte, aparas e produtos sucitados. A sucata obtida a partir de bens de consumo pode apresentar contaminantes necessitando de um tratamento prévio antes de sua utilização na Aciaria (BARÃO, 2011).

Sob o ponto de vista do rendimento aço líquido/carga metálica é vantajoso à utilização de maior proporção de sucata na carga, uma vez que seu teor de ferro é maior do que o do gusa e maior ainda do que outros materiais ferrosos, como, por exemplo, minério de ferro, sinter e carepa. Normalmente, o volume de sucata gerada em uma usina siderúrgica, como no caso da Usiminas, é inferior ao requerido para equilíbrio do balanço térmico, especialmente se a usina dispõe de lingotamento contínuo. Logo, a aquisição de sucata de terceiros ou a utilização de outros materiais refrigerantes deve ser considerada (BARÃO, 2011).

Em relação à sucata de gusa estão enquadrados os materiais de ferro fundido descartados e o gusa sólido, que é a moldagem de gusa líquido diretamente em lingotes que podem ser de geração própria ou adquirido de empresas especializadas. Enquadram-se também nesta categoria, os cascões de canal de corrida dos Altos-Fornos e dos carros torpedos que transportam o gusa líquido até a Aciaria. Entretanto, estes materiais apresentam contaminações de escória e refratários em sua composição, o que pode afetar a produção do aço (BARÃO, 2011).

A proporção de utilização da carga sólida depende das condições próprias de cada Aciaria que está diretamente ligada à disponibilidade e características do gusa líquido (BARÃO, 2011).

2.6 Regressão Linear e Correlação

O objetivo deste trabalho é avaliar a existência de correlações entre a porcentagem de carga sólida do convertedor com o rendimento carga metálica/aço líquido e com o consumo de outros materiais refrigerantes no convertedor. A partir da existência da correlação, o objetivo é incluí-la no modelo de custo marginal e avaliar o impacto nos custos médios e marginais da placa.

A dependência entre as variáveis pode ser descrita por uma função linear, quadrática, cúbica, logarítmica, exponencial, entre outros. Um dos primeiros passos para analisar como as variáveis estão relacionadas entre si é por meio do diagrama de dispersão. O diagrama de dispersão é um gráfico no qual cada par (x_i, y_i) é representado como um ponto plotado em um sistema bidimensional de coordenadas (MONTGOMERY, 2016).

Uma das ferramentas estatísticas mais utilizadas para modelar e explorar relações entre variáveis que estão relacionadas de maneira não determinística é a análise de regressão (MONTGOMERY, 2016).

No caso da regressão linear simples, considera-se um único regressor ou variável independente X e uma variável de resposta ou variável dependente Y . Supondo que a relação verdadeira entre X e Y seja uma linha reta, considera-se que cada observação Y possa ser descrita pela equação (Montgomery, 2016):

$$Y = a + bx + \varepsilon \quad (2)$$

Em que: a: coeficiente linear
 b: coeficiente angular
 ε : erro aleatório

O modelo de regressão que contenha mais de uma variável independente é denominado de modelo de regressão linear múltipla e pode ser descrita pela equação abaixo:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + \varepsilon \quad (3)$$

Modelos de regressão linear múltipla são frequentemente utilizados como funções de aproximações. Ou seja, a verdadeira relação entre y e x_1, x_2, \dots, x_k é desconhecida, entretanto, em determinadas faixas das variáveis independentes, o modelo de regressão linear é uma aproximação adequada (MONTGOMERY, 2016).

Considerando x e y , duas variáveis aleatórias, pode ser útil o conhecimento de uma medida que relacione as duas variáveis quando elas mantêm entre si uma relação dada por uma linha reta. Tal medida é dada pelo coeficiente de correlação. Em outras palavras, o coeficiente de correlação é um valor numérico que mede o grau de associação entre as duas variáveis (PETERNELLI, 2003).

Uma correlação amplamente utilizada é o coeficiente de correlação linear de Pearson dada pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Em que: x_i : valores observados para a variável independente x.
 y_i : valores observados para a variável independente y.
 \bar{x} : média amostral da variável x.
 \bar{y} : média amostral da variável y.

O coeficiente de correlação é uma medida adimensional, ou seja, é independente das unidades das variáveis x e y. Seu valor pode variar entre -1 (correlação negativa perfeita) e +1 (correlação positiva perfeita). Um valor igual a zero indicará ausência apenas de um relacionamento linear (FREUND *et al.*, 2000).

Deve-se tomar cuidado, pois o coeficiente de correlação define apenas o sentido da variação conjunta das variáveis. A tendência de duas variáveis variarem simultaneamente em uma direção ou em direções contrárias, onde os dados provavelmente indicariam uma correlação, positiva ou negativa, alta, não implicaria necessariamente em uma relação de causa e efeito.

Uma maneira de se verificar se o modelo proposto pela regressão linear é adequado para descrever o fenômeno é pelo coeficiente de determinação, mais conhecido como r^2 ou R^2 , definido por (MONTGOMERY, 2016):

$$R^2 = \frac{SQ_R}{SQ_T} = 1 - \frac{SQ_E}{SQ_T} \quad (5)$$

Em que: SQ_R : soma dos quadrados da regressão.
 SQ_E : soma dos quadrados dos erros.
 SQ_T : soma total corrigida dos quadrados.

No caso em que x e y são variáveis aleatórias, R^2 será o quadrado do coeficiente de correlação entre x e y. O coeficiente de determinação indica a porcentagem da variação de y que é explicada pela regressão, ou quanto da variação da variável dependente y está sendo explicada pela variável independente x. Seu valor está compreendido entre 0 e 1. Se

o R^2 for igual a 1 significa que todos os pontos observados se situam exatamente sobre a reta de regressão. Neste caso, pode-se dizer que as variações da variável y são 100% explicadas pelas variações da variável x . Caso o R^2 seja igual a zero, as variações de y não são explicadas pelas variações de x (MONTGOMERY, 2016).

O coeficiente de determinação deve ser utilizado com cuidado, pois é sempre possível fazer o R^2 ser igual a 1, adicionando termos suficiente ao modelo. Isto é, podemos obter um ajuste perfeito para os n pontos com um polinômio de grau $n-1$. Em geral, o valor de R^2 irá aumentar ao adicionar uma variável ao modelo, porém isso não necessariamente implicará que o modelo novo seja superior ao antigo (MONTGOMERY, 2016).

Após o ajuste de uma equação de regressão, é necessário avaliar a sua adequabilidade utilizando testes de hipóteses para os parâmetros do modelo e/ou construção de intervalos de confiança. Para esta análise, parte da premissa que os erros possuem distribuição normal (PETERNELLI, 2003).

Para o modelo representado pela equação 2, podem ser realizados os seguintes testes:

- a) $H_0: a = a^*$ versus $H_a: a \neq a^*$
- b) $H_0: b = b^*$ versus $H_a: b \neq b^*$

A estatística e a conclusão dos testes seriam para ambos os casos:

$$t_{calc} = \frac{a - a^*}{\sqrt{V(a)}} \quad (5)$$

Em que:

$$V(a) = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{SQD_x} \right) \quad (6)$$

Regra de decisão: Se $|t_{calc}| \geq t_{(\alpha/2, n-2)} =$ rejeita H_0

$$t_{calc} = \frac{b - b^*}{\sqrt{V(b)}} \quad (7)$$

Em que:

$$V(b) = \frac{\sigma^2}{SQD_x} \quad (8)$$

Regra de decisão: Se $|t_{calc}| \geq t_{(\alpha/2, n-2)} =$ rejeita H_0

Outra forma de testar a adequabilidade da equação de regressão é pelo método da Análise de Variância (ANOVA). Este método consiste em realizar uma partição da variabilidade total da variável dependente Y em outros componentes (PETERNELLI, 2003). Dessa forma, a seguinte identidade pode ser verificada:

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y})^2 \quad (5)$$

Ou seja: $SQ_T = SQ_R + SQ_E$

A partir das informações acima, o seguinte quadro poder ser preenchido:

Quadro 1: Análise da Variância da Regressão (ANOVA)

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Regressão	p-1	SQ_R	$QM_R = \frac{SQ_R}{p-1}$	QM_R / QM_E	
Resíduo ou Independente da Regressão	n-p	SQ_E	$QM_E = \frac{SQ_E}{(n-2)}$		
Total	n-1	SQ_T			

Em que: p: número de variáveis do modelo.
n: número de observações.

Se o p-valor for inferior ao nível de significância estabelecido, então considera-se que a regressão foi significativa (PETERNELLI, 2003).

3 MODELO DE CUSTO MARGINAL

Foi desenvolvido pela Engenharia Industrial da Usiminas um modelo de custo marginal que abrange as áreas de Redução (Sinterização, Coqueria e Alto-Forno) e Aciaria. A resposta deste modelo é o custo marginal da Placa.

O modelo é alimentado com informações técnicas, tais como, produção mínima e máxima de gusa e placa, carga metálica e combustíveis dos Altos-Fornos, carga metálica da Aciaria, subprodutos gerados, fundentes e ligas. Além dos custos operacionais fixos e variáveis de cada equipamento. Os custos fixos e variáveis obedecem a classificação utilizada pela área de Custos da Usiminas. Os custos fixos abrangem pessoal, reparos e manutenção, combustíveis e utilidades, suprimentos para operação, despesas e serviços administrativos e alocação direta de atividades. Enquanto que os variáveis abrangem além dos custos de matérias-primas, outros variáveis operacionais dos altos-fornos e aciaria.

O modelo apresentado foi dividido em 3 áreas: gusa líquido (Redução), placa lingotada e placa acondicionada (Aciaria), Figuras 8, 9 e 10, respectivamente. Os preços e os custos apresentados no modelo são valores fictícios, não representam a realidade da empresa.

Os preços das matérias-primas (carvão, minério e sucata) dependem de cada cenário analisado. Normalmente, utiliza-se o índice Platts para o minério e carvão e o preço de mercado baseado na Fonte SBB steel para a sucata. A Platts é uma grande agência de notícias globais sobre o mercado de energia, produtos petroquímicos e metais. Para chegar a um preço de referência para o minério de ferro 62% de Fe e o carvão, a Platts tem que confiar nas informações oferecidas de forma voluntária pelos operadores. Atualmente, é um índice amplamente utilizado pelo mercado.

O gusa líquido se divide em carga metálica do alto-forno, combustíveis, subprodutos altos-fornos, outros variáveis alto-forno, custos fixos, homogeneização e dessulfuração. Apesar da dessulfuração não pertencer à área de Redução, optou-se por considerá-la nesta área por questão de praticidade. A seguir é feita uma breve descrição de cada item pertencente ao gusa líquido, Figura 8.

Custo Placa (R\$/t)	Custo Médio - Cenário 1			Custo Marginal			Custo Médio - Cenário 2						
	Consumo ud/t	Preço R\$/t	Custo R\$/t	Consumo ud/t	Preço R\$/t	Custo R\$/t	Consumo ud/t	Preço R\$/t	Custo R\$/t				
Volume Gusa Líquido:			3200 Kt			300 Kt			3500 Kt				
Volume Placa Lingotada:			3276 Kt			307 Kt			3583 Kt				
Rendimento Gusa Placa			97,7%			97,7%			97,7%				
PAM Perda de Gusa			1,3%			1,3%			1,3%				
PAM Aço Líquido/Carga Metálica			1119 Kg/t			1119 Kg/t			1119 Kg/t				
PAM - Placa Lingotada/Aço Tratado			1014 Kg/t			1014 Kg/t			1014 Kg/t				
CARGA Sólida			15,0%			15,0%			15,0%				
Conceito	Ud.												
GUSA LÍQUIDO			647			735			655				
Carga Metálica AF	Kg	1604	200	312	3462	289	425	1647	206	340			
Sínter	Kg	1493	201	301	0	175	0	1365	201	275			
Granulado 1	Kg	34	254	8	0	500	0	31	254	8			
Granulado 2	Kg	137	166	23	0	0	0	126	166	21			
Pelota	Kg	0	289	0	1462	289	425	125	289	36			
Balanco de Fe			950			950			950				
Combustíveis	Kg	505	467	235	506	601	504	479	243				
Coque rate	Kg	382			385			382					
Coque Próprio	Kg	582		189	43		495	21	558		179		
Coque Importado	Kg	0		0	343		094	237	29		094	20	
PCI	Kg	121		380	46		121	380	46		121	380	46
Subprodutos Alto Forno	R\$			(112)				(112)			(152)		
AF1	R\$			(121)				(121)			(121)		
AF2	R\$			(121)				(121)			(121)		
AF3	R\$			(178)				(178)			(178)		
Outros Variáveis Alto Forno	R\$			133				133			133		
Operacionais	R\$			132				132			132		
Fundentes	R\$			1				1			1		
Outros Variáveis Alto Forno 1	R\$			124				124			124		
Outros Variáveis Alto Forno 2	R\$			124				124			124		
Outros Variáveis Alto Forno 3	R\$			139				139			139		
Custos Fixos	R\$			73				0			67		
Coqueria	R\$			17				0			16		
Manuseio de Coque	R\$			0				0			0		
Bundagem Sinterização	R\$			0				0			0		
Sinterização	R\$			14				0			13		
Sínter 1	R\$			1				0			1		
Sínter 2	R\$			7				0			6		
Sínter 3	R\$			6				0			5		
Alto Forno	R\$			41				0			37		
AF 1	R\$			11				0			10		
AF 2	R\$			11				0			10		
AF 3	R\$			19				0			18		
Dessulfuração	R\$			1				0			1		
Homogeneização	R\$			5				6			5		
Desulfuração	R\$			1				1			1		

Figura 8 – Modelo de custo marginal da área de Redução.

Fonte: O autor.

A carga metálica do alto-forno é dividida em sínter (57% de Fe), granulado 1 (59% de Fe), granulado 2 (62% de Fe) e pelota (~64% de Fe). O sínter e a pelota são consideradas cargas preparadas para o alto-forno, ou seja, são cargas com melhor desempenho em termos metalúrgicos. Das 4 cargas metálicas apresentadas, a pelota é a mais cara. Parte-se do princípio que todo sínter produzido será consumido, uma vez que é a carga metálica mais econômica de um alto-forno e não haverá geração de estoque. A diferença entre os granulados 1 e 2 é o tipo de contrato. Considera-se que para o granulado 1, o contrato é do tipo Take or Pay. Isto é, o contrato estabelecido entre o comprador e o vendedor obriga o comprador a pagar, independentemente de haver a entrega ou não do produto por parte do vendedor. Em outras palavras, se a siderurgia consumir ou não a quantidade de granulado 1 acordada no contrato, de qualquer forma ela terá o desembolso referente a essa quantidade. Portanto, o modelo respeita o Take or Pay do granulado 1. Para o granulado 2, não existe esta restrição de contrato. O restante para completar o balanço de ferro será preenchido com granulado 2 e/ou pelotas.

O resultado da carga metálica do alto-forno para o cenário 1 na coluna consumo está apresentado na Figura 8. Neste caso, tem-se 1.493 kg/t_{gusa} de sínter, 34 kg/t_{gusa} de granulado 1, 137 kg/t_{gusa} de granulado 2, totalizando 1.664 kg de carga metálica necessárias para produzir 1000 kg de gusa (94% de Fe). No balanço de ferro considera-se a perda de ferro para a escória, para o pó e para a lama. Não foi considerado para o nível de produção de gusa de 3200 kt a utilização de pelotas na carga. Para o cenário 2, com o aumento da produção de gusa para 3500 kt, considerou-se a pelota, dessa forma a carga metálica ficou com 1365 kg/t_{gusa} de sínter, 31 kg/t_{gusa} de granulado 1, 126 kg/t_{gusa} de granulado 2 e 125 kg/t_{gusa} de pelota, totalizando 1647 kg de carga metálica para 1000 kg de gusa.

Ainda em gusa líquido, na linha de combustíveis, têm-se os dois principais combustíveis do alto-forno, o coque e a injeção de carvão pulverizado denominados Coke Rate e PCI, respectivamente. O Coke Rate é subdividido em coque próprio produzido nas Coquerias da Usiminas e o coque importado. A Planta de Ipatinga não é autossuficiente em coque, portanto para grandes produções de gusa (os 3 altos-fornos com produtividade alta) é necessário a utilização de coque importado. Para alimentar o modelo com os dados de Coke Rate e PCI, utiliza-se a média real dos 3 últimos meses. Portanto, na Figura 8 a média foi de 382 kg/t_{gusa} de Coke Rate e de 121 kg/t_{gusa} de PCI. No cenário 1 não houve necessidade de compra de coque importado. Entretanto, para o cenário 2, as quantidades adicionais de gusa foram produzidas com a utilização de 29 kg/t_{gusa} de coque importado, resultando no aumento do custo de produção tanto no custo médio quanto no custo marginal.

No crédito de subprodutos incluem a geração de pó e de lama do alto-forno, a geração de escória, além da geração do gás de alto-forno BFG (blast furnace gas). Na Figura 8, o crédito de subprodutos foi de -132 R\$/t_{gusa}.

Em outros variáveis do alto-forno estão incluídos reparos e manutenção, combustíveis e utilidades, suprimentos para operação, despesas e serviços administrativos e alocação direta de atividades. Na Figura 8, os outros variáveis dos altos-fornos foi de 133 R\$/t_{gusa}.

Nos custos fixos estão sendo considerados os custos de todos os equipamentos da área de Redução, ou seja, Coqueria 2, Coqueria 3, Sinterização 1, Sinterização 2, Sinterização 3, Alto-Forno 1, Alto-Forno 2 e Alto-Forno 3. O total de custos fixos da área da redução para o cenário 1 é de 73 R\$/t_{gusa}. Como não há ligamento de outro equipamento

quando se aumenta a produção de gusa no cenário 2, os custos fixos total para este cenário é de 67 R\$/t_{gusa}, Figura 8.

A homogeneização é a mistura do gusa proveniente dos 3 altos-fornos da Usiminas. Nesta etapa há uma perda de gusa líquido ou lingotamento de gusa. Na Figura 8, a perda de gusa que é igual para os dois cenários e está apresentado como PAM perda de gusa de 1,9%.

Na dessulfuração estão incluídos os custos das matérias-primas dessulfurantes e os custos operacionais variáveis deste processo. Na Figura 8, o custo da dessulfuração foi de 1 R\$/t_{gusa}.

Somando-se todos os itens acima descritos tem-se o custo do gusa líquido para o cenário 1 de 647 R\$/t_{gusa} e para o cenário 2 de 655 R\$/t_{gusa}, Figura 8.

A coluna do meio da Figura 8 corresponde ao custo marginal do gusa. Neste exemplo, observa-se que há marginalidade na carga metálica do alto-forno apenas na pelota de 1462 kt/t_{gusa}, o que significa que as toneladas adicionais de gusa seriam feitas com 100% de pelotas. No sinter não existe marginalidade, pois considerou-se que foi atingida a capacidade de produção das máquinas de sinter, portanto quando se aumenta a produção de gusa, o volume de sinter carregado no alto-forno não aumenta. Não há marginalidade no granulado 1, pois o modelo sempre respeita o contrato de Take or Pay, isto é, ele consome sempre o máximo em todos os cenários analisados. Em relação ao granulado 2, optou-se por manter o volume constante, portanto também não há marginalidade nesta carga metálica.

Existe também marginalidade nos combustíveis dos altos-fornos, pois com o aumento da produção há também o aumento do consumo destas matérias-primas. Verificase que para as toneladas adicionais ainda restava um pequeno volume de coque próprio disponível e o restante foi completado com coque importado. O PCI permaneceu constante em 121 kg/t_{gusa}.

No exemplo considerado na Figura 8, os custos fixos marginais são iguais a zero no gusa líquido, uma vez que não estão sendo considerados ligamento de equipamentos para produzir este adicional de produção.

Na Figura 9 está apresentado o modelo de custo marginal para a placa lingotada.

Custo Placa (R\$/t)		Custo Médio - Cenário 1			Custo Marginal			Custo Médio - Cenário 2		
		Consumo ud/t	Preço R\$/t	Custo R\$/t	Consumo ud/t	Preço R\$/t	Custo R\$/t	Consumo ud/t	Preço R\$/t	Custo R\$/t
Conceito		Volume Gusa Líquido: 3200 Rt			Volume Gusa Líquido: 300 Rt			Volume Gusa Líquido: 3500 Rt		
		Volume Placa Lingotada: 3276 Rt			Volume Placa Lingotada: 307 Rt			Volume Placa Lingotada: 3583 Rt		
		Rendimento Gusa Placa: 97,7%			Rendimento Gusa Placa: 97,7%			Rendimento Gusa Placa: 97,7%		
		PAM Perda de Gusa: 1,3%			PAM Perda de Gusa: 1,3%			PAM Perda de Gusa: 1,3%		
		PAM Aço Líquido/Carga Metálica: 1119 Kg/t			PAM Aço Líquido/Carga Metálica: 1119 Kg/t			PAM Aço Líquido/Carga Metálica: 1119 Kg/t		
		PAM - Placa Lingotada/Aço Tratado: 1014 Kg/t			PAM - Placa Lingotada/Aço Tratado: 1014 Kg/t			PAM - Placa Lingotada/Aço Tratado: 1014 Kg/t		
		CARGA Sólida: 15,0%			CARGA Sólida: 15,0%			CARGA Sólida: 15,0%		
Conceito		Consumo			Consumo			Consumo		
Unid.		R\$/t			R\$/t			R\$/t		
PLACA LINGOTADA										
Carga Metálica Corv.	kg	1134	566	642	1134	704	798	1134	578	653
Gusa líquido	kg	964	574	553	964	735	709	964	588	567
Gusa sólido	kg	7	454	3	0	0	0	6	454	3
Sucata de aço interno	kg	154	523	80	154	523	80	154	523	80
Gusa sólido adquirido	kg	0	646	0	0	0	0	0	646	0
Sucata de aço adquirida	kg	10	536	5	16	536	9	10	536	6
Ligas	kg	2	5017	8	2	5017	8	2	5017	8
Ligas Níquel	kg	0	19487	0	0	0	0	0	19487	0
Ligas Manganês	kg	2	5017	8	2	5017	8	2	5017	8
Ligas Silício	kg	0	4357	0	0	0	0	0	4357	0
Outras Ligas	kg	0	4683	0	0	0	0	0	4683	0
Fundentes	kg	90	308	28	90	308	28	90	308	28
Cal	kg	28	315	9	28	315	9	28	315	9
Dolomita	kg	46	231	11	46	231	11	46	231	11
Escorificantes	kg	10	55	1	10	55	1	10	55	1
Refrigerantes	kg	3	503	1	3	503	1	3	503	1
Outros Fundentes	kg	3	1865	6	3	1865	6	3	1865	6
Desoxidantes	kg	3	5903	18	3	5903	18	3	5903	18
Custo de Equipamentos - Variáveis		R\$ 155			R\$ 155			R\$ 155		
Metalurgia Primária - Variável		R\$ 101			R\$ 101			R\$ 101		
Aciaria 1		R\$ 57			R\$ 57			R\$ 57		
Convertedor 1		R\$ 57			R\$ 57			R\$ 57		
Convertedor 2		R\$ 57			R\$ 57			R\$ 57		
Convertedor 3		R\$ 0			R\$ 0			R\$ 0		
Aciaria 2		R\$ 44			R\$ 44			R\$ 44		
Convertedor 4		R\$ 44			R\$ 44			R\$ 44		
Convertedor 5		R\$ 44			R\$ 44			R\$ 44		
Metalurg. Secundária - Variável		R\$ 7			R\$ 7			R\$ 7		
Ling. Contínuo - Variável		R\$ 47			R\$ 47			R\$ 47		
Lingotamento 1		R\$ 38			R\$ 38			R\$ 38		
Lingotamento 2		R\$ 38			R\$ 38			R\$ 38		
Lingotamento 3		R\$ 37			R\$ 37			R\$ 37		
Lingotamento 4		R\$ 76			R\$ 76			R\$ 76		
Custo de Equipamentos - Fixos		R\$ 0			R\$ 0			R\$ 29		
Metalurgia Primária - Fixo		R\$ 14			R\$ 0			R\$ 13		
Aciaria 1		R\$ 3			R\$ 0			R\$ 3		
Convertedor 1		R\$ 2			R\$ 0			R\$ 2		
Convertedor 2		R\$ 2			R\$ 0			R\$ 2		
Convertedor 3		R\$ 0			R\$ 0			R\$ 0		
Aciaria 2		R\$ 11			R\$ 0			R\$ 10		
Convertedor 4		R\$ 6			R\$ 0			R\$ 5		
Convertedor 5		R\$ 6			R\$ 0			R\$ 5		
Metalurg. Secundária - Fixo		R\$ 1			R\$ 0			R\$ 1		
Ling. Contínuo - Fixo		R\$ 16			R\$ 0			R\$ 15		
Lingotamento 1		R\$ 6			R\$ 0			R\$ 5		
Lingotamento 2		R\$ 8			R\$ 0			R\$ 5		
Lingotamento 3		R\$ 0			R\$ 0			R\$ 0		
Lingotamento 4		R\$ 5			R\$ 0			R\$ 4		
Crédito Subprodutos		R\$ (38)			R\$ (38)			R\$ (38)		
Custo Variável		R\$ 813			R\$ 908			R\$ 820		
Custo Fixo (*)		R\$ 109			R\$ 0			R\$ 96		
		R\$ 922			R\$ 908			R\$ 916		

Figura 9 – Modelo de custo marginal da placa lingotada.

Fonte: O autor.

A placa lingotada divide-se em carga metálica do convertedor, ligas, fundentes, desoxidantes, custos de equipamentos variáveis, custos de equipamentos fixos e créditos subprodutos.

Na carga metálica do convertedor tem-se o gusa líquido proveniente dos altos-fornos, gusa sólido próprio (co-produto do alto-forno, por exemplo por lingotamento de gusa), sucata de aço interna (proveniente da aciaria e das laminações), gusa sólido adquirido e sucata de aço adquirida.

O rendimento da aciaria é calculado pela seguinte fórmula:

$$Rendimento = \frac{Produção\ de\ gusa\ x\ (1 - perda\ de\ gusa) \times 1000}{Produção\ de\ placa\ x\ (1 - \% \text{ carga sólida})} \quad (6)$$

Na Figura 9, o rendimento para o Cenário 1 foi de 1.134 kg/t_{placa} considerando produção de gusa igual a 3.200 kt, produção de placa igual a 3.276 kt, perda de gusa igual a 1,3% e quantidade de carga sólida igual a 15%.

O consumo de gusa líquido é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Gusa Líquido: } \frac{\text{Produção de gusa} \times (1 - \text{perda de gusa}) \times 1000}{\text{Produção de placa}} \quad (7)$$

Na Figura 9, o consumo de gusa líquido calculado foi de 964 kg/t_{placa}.

O modelo assume a premissa que as quantidades de gusa sólido próprio e de sucata de aço interna geradas no período considerado são consumidas na análise. Na Figura 9, tem-se 7 kg/t_{placa} para gusa sólido e 154 kg/t_{placa} para sucata de aço interna. Dessa forma, a sucata de aço adquirida sai por diferença de forma a completar o balanço de ferro na Aciaria. Nos cenários 1 e 2, para completar o 1.134 kg/t_{placa}, são necessárias 10 kg/t_{placa} de sucata de aço adquirida. O gusa sólido adquirido só será considerado para porcentagens de carga sólida acima de 15%. Para este caso será respeitado o balanço térmico dos convertedores.

As ligas, os fundentes e os desoxidantes são referentes ao aço comercial. Neste caso, utilizaram-se 2 kg/t_{placa} de ligas, 90 kg/t_{placa} de fundentes e 3 kg/t_{placa} de desoxidantes. Assume-se a premissa que não haverá variação de consumo destes materiais entre os cenários.

Os custos de equipamentos variáveis incluem os custos de todos os equipamentos da Aciaria. Na metalurgia primária inclui os convertedores 1, 2 e 3 da Aciaria 1 e os convertedores 5 e 6 da Aciaria 2. Na metalurgia secundária inclui o Forno Panela da Aciaria 1 e o Forno Panela, os 2 Rh's e os 2 Cas-OB da Aciaria 2. No lingotamento estão incluídos a Máquina de Lingotamento 4 da Aciaria 1 e as Máquinas 1, 2 e 3 da Aciaria 2. O valor de custos variáveis na metalurgia primária foi de 101 R\$/t_{placa}, 7 R\$/t_{placa} na metalurgia secundária e 48 R\$/t_{placa} no lingotamento, totalizando 155 R\$/t_{placa} de custos variáveis. Nos cenários da Figura 9 apenas o convertedor 3 da Aciaria 1 está desligado, portanto, seu custo é zero.

Para os custos fixos consideram-se os mesmos equipamentos dos custos variáveis, sendo 32 R\$/t_{placa} para o cenário 1 e 29 R\$/t_{placa} para o cenário 2, Figura 9.

Os créditos de subprodutos para a Aciaria foi de -38 R\$/t_{placa}. Nos subprodutos estão inclusos o gás de aciaria, as sucatas geradas no processo e agregados siderúrgicos, Figura 9.

A partir do gusa líquido e da placa lingotada tem-se o total dos custos variáveis, 813 R\$/t_{placa} e total dos custos fixos, 103 R\$/t_{placa}, totalizando em 916 R\$/t_{placa} para o cenário 1 e 826 R\$/t_{placa} de custos variáveis, 94 R\$/t_{placa} de custos fixos, totalizando em 920 R\$/t_{placa} para o cenário 2.

A coluna do meio da Figura 9 corresponde ao custo marginal da placa lingotada. No exemplo considerado, os custos fixos marginais são iguais a zero, uma vez que não estão sendo considerados ligamento de equipamentos da Aciaria para produzir este adicional de placa.

Na carga metálica dos convertedores, há marginalidade no gusa líquido, pois optou-se por aumentar a produção de gusa. Há marginalidade na sucata de aço interna, pois quando se aumenta o gusa, aumenta-se a produção de placa e conseqüentemente aumenta-se a geração de sucata interna. E existe marginalidade na sucata de aço adquirida, pois quando se aumenta a produção de placa com uma carga sólida em 15%, também aumenta-se o consumo deste tipo de sucata. O seu valor sai por fechamento do balanço de ferro.

O custo marginal da placa comercial para o exemplo apresentado na Figura 9 foi de 968 R\$/t_{placa}.

Na Figura 10 está apresentado o modelo de custo marginal para a placa acondicionada.

Custo Placa (R\$/t)		Custo Médio - Cenário 1			Custo Marginal			Custo Médio - Cenário 2		
		Consumo un./t	Preço R\$/t	Custo R\$/t	Consumo un./t	Preço R\$/t	Custo R\$/t	Consumo un./t	Preço R\$/t	Custo R\$/t
Cenário										
PLACA ACONDICIONADA										
PAM	kg	1009	918	924	1009	968	977	1009	910	929
Cerepas	kg	2	16	0	2	16	0	2	16	0
Sucata de Aço	kg	3	528	1	3	528	1	3	528	1
Placa de Mistura	kg	5	527	2	5	527	2	5	527	2
Placa Curta	kg	0	533	0	0	533	0	0	533	0
Custo Variável	R\$			920			973			925
Custo Fixo (*)	R\$			106			6			95
Custo Variável + Fixo	R\$			1026			979			1020

Figura 10 – Modelo de custo marginal da placa acondicionada.

Fonte: O autor.

Para a placa acondicionada consideram-se a PAM de acondicionamento, 1.009 kg/t_{placa} e os subprodutos gerados no processo tais como, carepas, sucatas de aço, placa de mistura e placa curta. Considerando os custos do acondicionamento de placas, tem-se o custo da placa comercial de 1024 R\$/t_{placa} para o cenário 1 e 1020 R\$/t_{placa} para o cenário 2.

O custo marginal da placa acondicionada para o exemplo apresentado na Figura 10 foi de 973 R\$/t_{placa}. Observa-se que este valor da placa do custo marginal é menor do que os custos médios dos Cenários 1 e 2, 1024 R\$/t_{placa} e 1020 R\$/t_{placa}, respectivamente. Esta tendência já era esperada, uma vez que com o aumento da produção sem a necessidade de ligar equipamentos adicionais, o custo médio diminui devido à diluição dos custos fixos. Logo, o custo marginal é mais baixo que os custos médios dos cenários. A partir deste custo marginal da placa é que se toma decisões se vale a pena ou não aumentar a produção para a exportação.

Existem basicamente 2 formas de se aumentar a produção de placas na Usiminas. Uma das formas é aumentar a produção de gusa dos altos-fornos, mantendo-se a quantidade de carga sólida constante. A outra forma é manter a produção de gusa constante e aumentar a participação de carga sólida nos convertedores da Aciaria. Para o exemplo apresentado nas Figura 7, 8 e 9, optou-se pelo aumento da produção de gusa em 300 kt mantendo a porcentagem de carga sólida constante em 15%. Este aumento corresponde a um volume de placa adicional de 307 kt.

De posse dessas informações, calcula-se o custo marginal da Placa Comercial que servirá de base para a precificação para o Mercado Externo. Neste estudo foi abordado apenas o modelo para a Planta de Ipatinga.

As limitações existentes hoje no modelo são referentes ao processo de aciaria. Por exemplo, quando se altera o mix de carga metálica (gusa líquido, carga sólida) com o aumento da produção, o rendimento do convertedor não se altera, permanece constante. Isto não é verdade, uma vez que o teor de ferro metálico presente no gusa líquido (94,5 % de Fe) é diferente daquele presente na carga sólida (80,0% - 99,0% - dependendo do tipo de sucata). Portanto, há um impacto nos custos que no modelo não está sendo considerado. Outro impacto se refere ao consumo de outros materiais refrigerantes com o aumento do consumo de sucata na carga metálica do convertedor que, da mesma forma que o rendimento, o consumo de outros materiais refrigerantes permanece constante.

4 ESTUDO DE CASO

Para a análise, foram utilizados os dados industriais por corrida diária das Aciarias. A produção média por aciaria gira em torno de 42 corridas/dia na Aciaria 1 e 38 corridas/dia na Aciaria 2. Essas corridas significam uma produção de aço de 76 t/convertedor na Aciaria 1 e 165 t/convertedor na Aciaria 2. No estudo foram utilizados os dados referentes ao período de Janeiro/13 a Dezembro/13. O motivo da escolha deste período se deve ao fato que o ano de 2014 apresentou baixa demanda de aço quando comparado aos anos anteriores e o ano de 2015 foi ainda mais atípico, pois ocorreram os desligamentos do Alto-Forno 1 e da Aciaria 1 de Ipatinga devido à crise do mercado de aço.

Para avaliar a correlação linear entre as variáveis de consumo de sucata e consumo de outros materiais refrigerantes com o rendimento aço líquido/carga metálica foi utilizado o *software* Statgraphics®, pois além de ser um dos softwares de estatística disponíveis na Usiminas, é de fácil utilização. Do banco de dados, foram excluídos manualmente os dados que apontavam claramente anormalidade do processo que podem ser devidos a diversas causas, entre elas, erro de digitação, erro do operador, erro de leitura, interrupções do processo e etc. Estes dados são chamados de *outliers* e a sua presença pode ter um efeito adverso nas decisões a serem tomadas a partir da análise dos dados, caso não sejam devidamente considerados. Terminada a seleção manual dos *outliers*, foi utilizada a técnica do Box plot visando o refinamento dos dados restantes por meio de um critério que estabelece os limites de controle a partir da distribuição dos dados. As análises foram realizadas para a Aciaria 1 e para a Aciaria 2, separadamente e, em seguida, foram avaliadas as duas aciarias em conjunto.

4.1 Resultados

4.1.1 Análise estatística dos dados

Nas Figuras 11, 12 e 13 estão apresentados os gráficos Box Plot para as variáveis sucata, consumo de outros materiais refrigerantes e rendimento aço líquido/carga metálica da Aciaria 1.

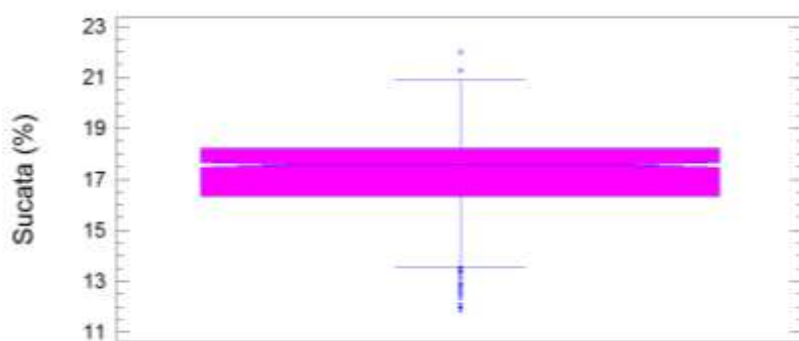


Figura 11 – Box Plot para os dados de sucata da Aciaria 1.

O total de dados analisados da Aciaria 1 foi de 1238. Na Figura 11, a linha do retângulo corresponde à mediana, que divide a quantidade dos dados igualmente em dois grupos. A mediana dos dados de sucata da Aciaria 1 foi de 17,56%. O quartil superior foi de 18,22% e o quartil inferior foi de 16,36%. A diferença entre esses quartis representa a dispersão dos dados, neste caso, 1,86%. No Statgraphics[®], os dados do gráfico fora destes limites e considerados possíveis *outliers* são demarcados por um x. Verifica-se pelo gráfico que não ocorreu a presença de *outliers*.



Figura 12 – Box Plot para os dados de outros materiais refrigerantes da Aciaria 1.

Observa-se pela Figura 12, que não houve ocorrência de *outliers*. A mediana dos dados de consumo de outros materiais refrigerantes na Aciaria 1 foi de 2,97 kg/t. O quartil superior foi 6,03 kg/t e o quartil inferior foi 0 (zero). A diferença entre esses quartis foi 6,03 kg/t.

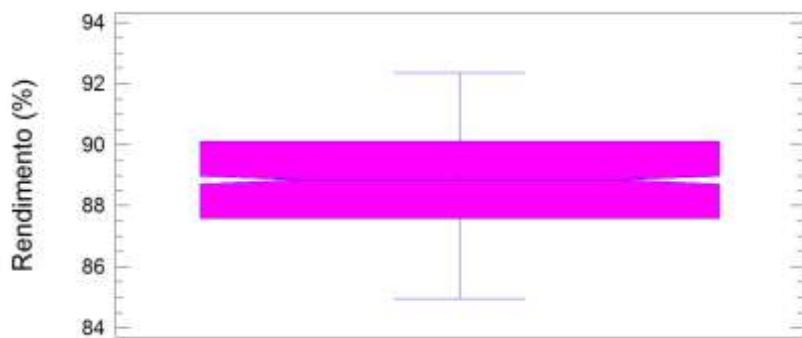


Figura 13 – Box Plot para os dados de rendimento da Aciaria 1.

A mediana dos dados de rendimento da Aciaria 1 foi de 88,83%. O quartil superior foi 90,12% e o quartil inferior foi 87,59%. A diferença entre esses quartis foi 2,53%. Da mesma forma que os anteriores, não houve ocorrência de *outliers* (Figura 13).

Nas Figuras 14, 15 e 16 estão apresentados os gráficos Box Plot para as variáveis sucata, consumo de outros refrigerantes e rendimento aço líquido/carga metálica da Aciaria 2.

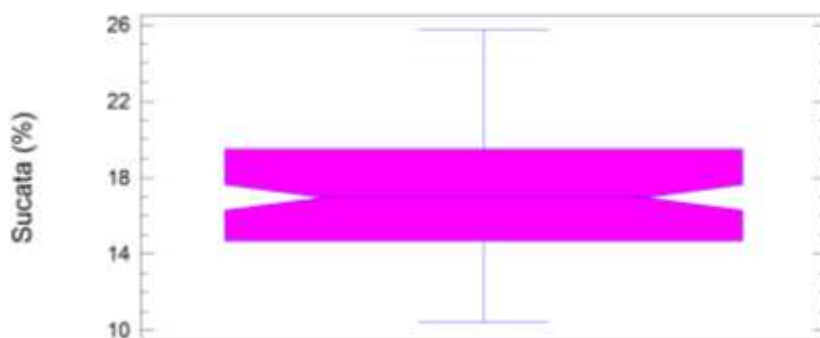


Figura 14 – Box Plot para os dados de sucata da Aciaria 2.

O total de dados analisados da Aciaria 2 foi de 652. Por ser um aço menos nobre, a produção do aço comum se concentra mais na Aciaria 1 do que na Aciaria 2. A mediana dos dados de sucata da Aciaria 2 foi de 16,95%. O quartil superior foi de 19,43% e o quartil inferior foi de 14,66%. A dispersão dos dados foi de 4,77%. Observa-se no gráfico da Figura 14 que não ocorreu a presença de *outliers*.



Figura 15 – Box Plot para os dados de outros materiais refrigerantes da Aciaría 2.

Observa-se no Box Plot da Figura 15, a presença de *outliers*. Entretanto, como estes consumos são factíveis, optou-se por não excluí-los da análise. O consumo mensal de outros materiais refrigerantes no convertedor, tais como, sínter e carepa é em torno de 3 kg/t de aço líquido.

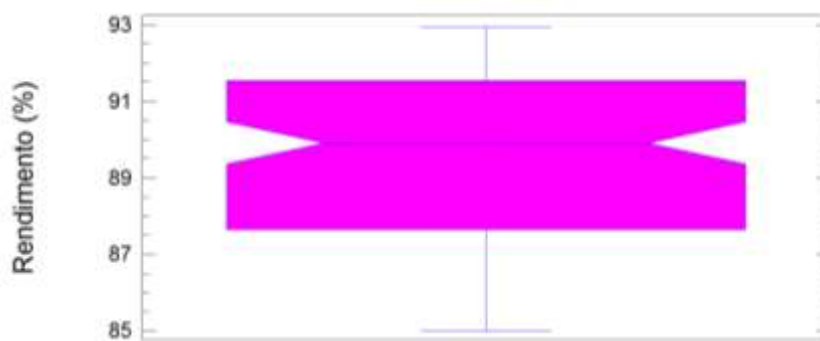


Figura 16 – Box Plot para os dados de rendimento da Aciaría 2.

Pela Figura 16, observa-se que não houve ocorrência de *outliers*. A mediana dos dados de rendimentos na Aciaría 2 foi de 89,88%. O quartil superior foi 91,53% e o quartil inferior foi 87,65%. A diferença entre esses quartis foi 3,88%.

Para as análises seguintes foi feita uma média ponderada mensal dos dados de sucata, consumo de outros materiais refrigerantes e rendimentos aço líquido/carga metálica.

4.1.2 Sucata e rendimento de aço líquido/carga metálica

Na Figura 17 é mostrada a evolução do consumo de sucata e o rendimento aço líquido/carga metálica da Aciaria 1 da Usina de Ipatinga ao longo do período avaliado.

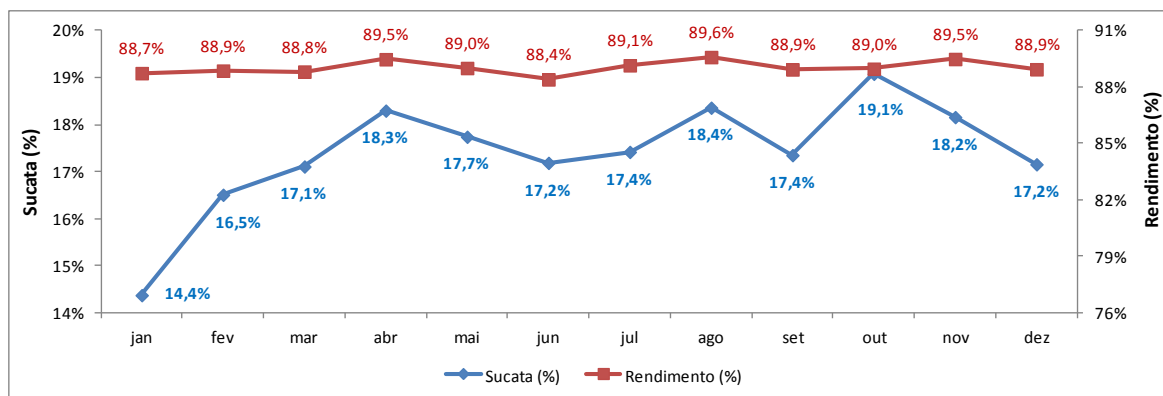


Figura 17 – Evolução do consumo de sucata e rendimento da Aciaria 1.

A Figura 18 apresenta o diagrama de dispersão entre o consumo de sucata e o rendimento aço líquido/carga metálica da Aciaria 1.

Observa-se pelas Figuras 17 e 18 que na maioria dos meses que quanto maior a porcentagem de sucata na carga metálica, maior o rendimento aço líquido/carga metálica, resultado que está de acordo com o esperado. Apenas alguns meses como, por exemplo, janeiro de 2013 que consumiu um baixo percentual de sucata (14%) e obteve um rendimento maior (88,6%) quando comparado ao mês de junho de 2013 que consumiu 17,2% de sucata e obteve um rendimento de 88,4%. Este tipo de comportamento pode ter sido influenciado por outros fatores operacionais, uma vez que são dados industriais.

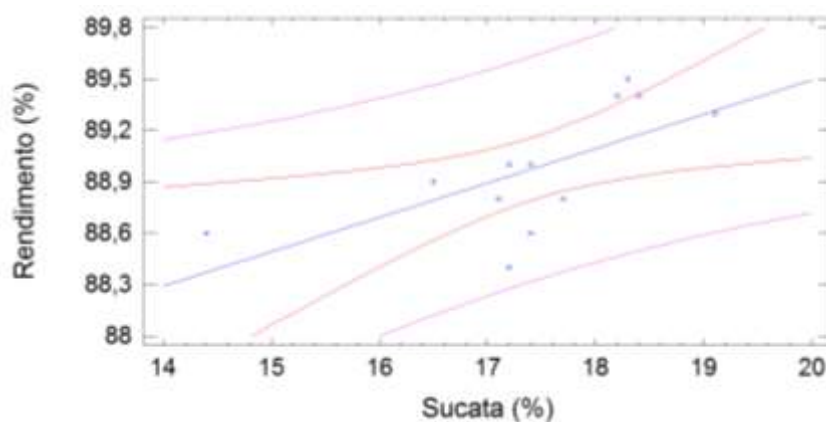


Figura 18 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 1.

Na Figura 19 está apresentado o modelo especificado pelo Statgraphics® para a análise de regressão simples entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 1.

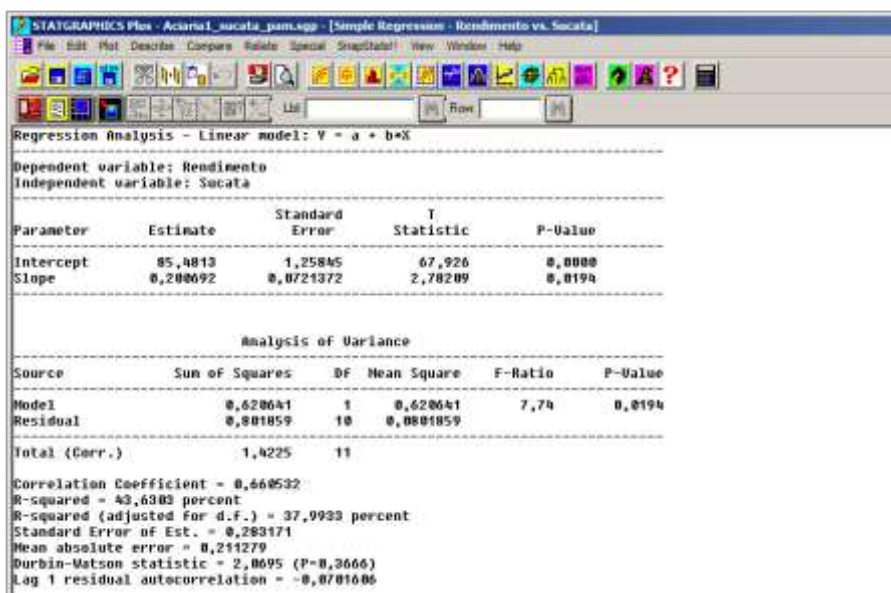


Figura 19 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e rendimento da Aciaria 1.

A equação obtida do modelo linear que descreve a relação entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 1 é:

$$Y = 85,48 + 0,20 * X \quad (8)$$

O erro padrão da estimativa do valor do intercepto “a” de 85,48 foi de 1,26. Este valor mede a precisão das estimativas do valor desconhecido do coeficiente do modelo, sendo este valor sempre positivo. Quanto menor for o erro padrão, mais precisa será a estimativa. Na Figura 19, o valor de “p” foi menor que alfa (0,05), portanto conclui-se que o coeficiente é significativamente diferente de zero. A estimativa da inclinação “b” possui erro padrão de 0,07 e o valor de “p” (0,0194) é menor do que o valor de alfa. O coeficiente de determinação obtido foi de $R^2 = 43,63\%$ que explica 43,63% da variabilidade do rendimento com a porcentagem de sucata. O coeficiente de correlação “r” de 0,66 indica uma relação direta entre as variáveis.

Na Figura 20 é mostrada a evolução do consumo de sucata e o rendimento aço líquido/carga metálica da Aciaria 2 da Usina de Ipatinga ao longo do período avaliado.

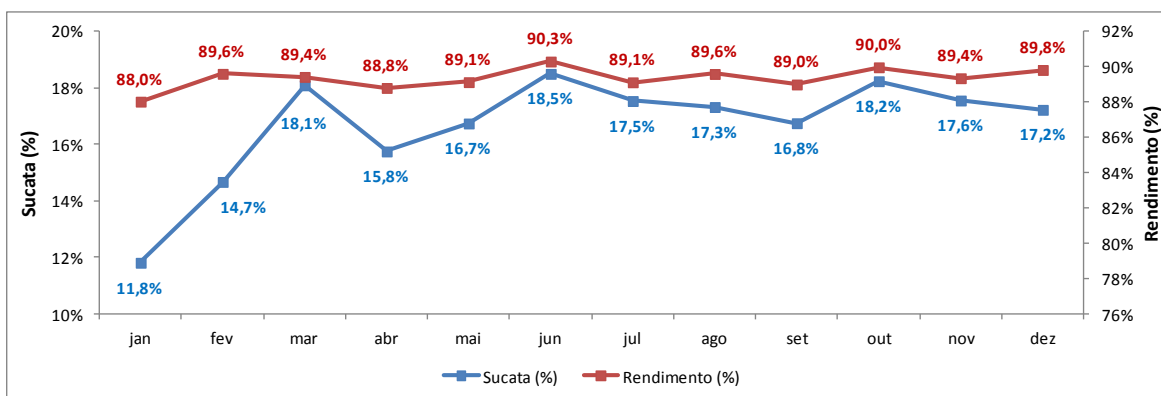


Figura 20 – Evolução do consumo de sucata e rendimento da Aciaria 2.

O diagrama de dispersão do consumo de sucata e do rendimento aço líquido/carga metálica da Aciaria 2 está apresentado na Figura 21. Da mesma forma que a Aciaria 1, na maioria dos meses observa-se que quanto maior o consumo de sucata, maior o rendimento aço líquido/carga metálica.

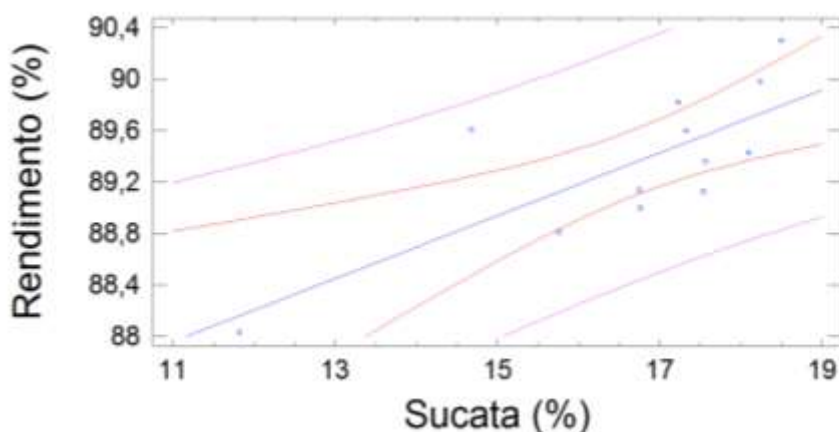


Figura 21 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 2.

Na Figura 22 está apresentado o modelo para a análise de regressão linear simples entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 2.

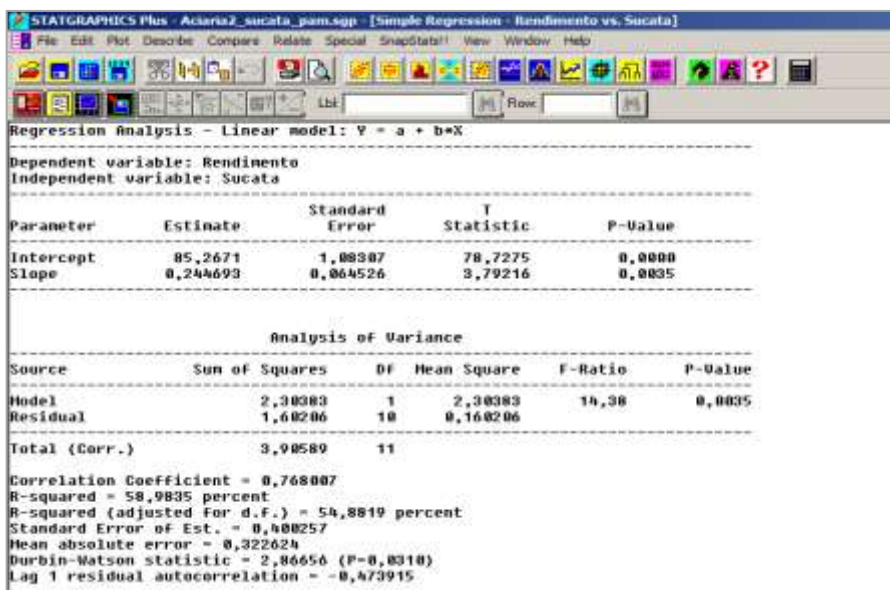


Figura 22 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e rendimento da Aciaria 2.

O modelo linear que descreve a relação entre o consumo de sucata e o rendimento da Aciaria 2 é representado pela equação da reta:

$$Y = 85,27 + 1,08 * X \quad (9)$$

Na Figura 22, o valor do intercepto “a” (85,27) possui um erro padrão de 1,08. O valor “p” de 0 (zero) é menor que o nível alfa (0,05), então conclui-se que o coeficiente “a” é significativamente diferente de zero. A estimativa da inclinação “b” possui erro padrão de 0,06 e valor de “p” (0,0035) é menor do que o valor de alfa. O coeficiente de determinação obtido foi de $R^2 = 58,98\%$ que explica 58,98% da variabilidade do rendimento com a porcentagem de sucata. O coeficiente de correlação “r” de 0,77 indica uma relação direta entre as variáveis.

Tanto o resultado da Aciaria 1 quanto o da Aciaria 2 estão de acordo com a literatura, pois quanto maior a participação de sucata na carga metálica do convertedor, maior o rendimento aço líquido/carga metálica (Barão, 2011).

Uma vez que o comportamento foi semelhante entre as duas aciarias de Ipatinga, optou-se por obter a correlação das duas aciarias juntas para incluí-la no modelo de custo marginal. Na Figura 23 é mostrada a regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento aço líquido/carga metálica das duas aciarias.

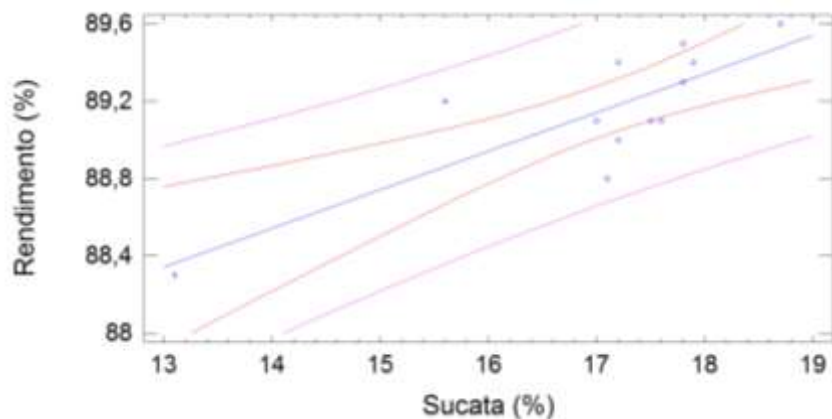


Figura 23 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o rendimento das Aciarias.

Na Figura 24 está apresentado o modelo para a análise de regressão linear simples entre o consumo de sucata e o rendimento considerando as duas Aciarias.

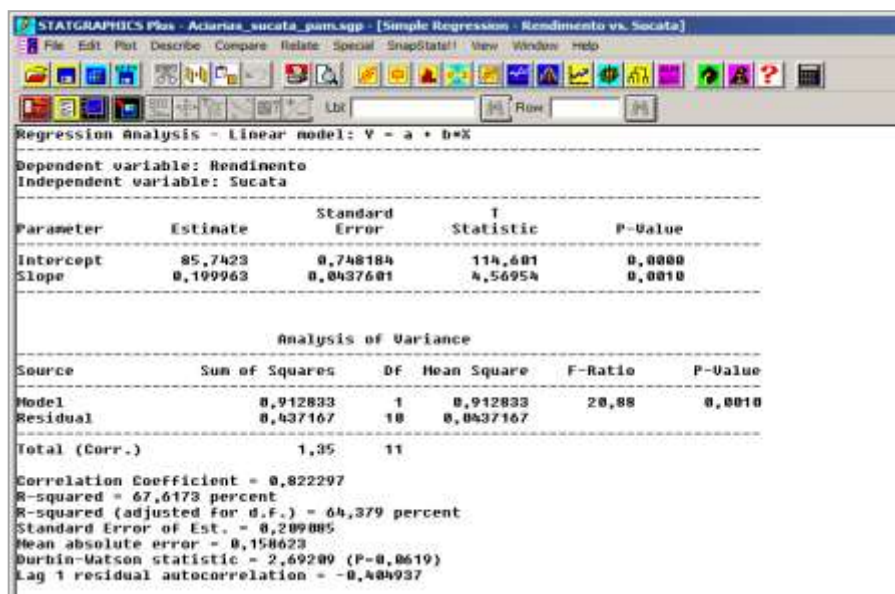


Figura 24 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e rendimento das Aciarias.

O modelo linear que descreve a relação entre o consumo de sucata e o rendimento das Aciarias é representado pela equação da reta:

$$Y = 85,74 + 0,20 * X \quad (10)$$

Os erros padrão das estimativas do intercepto “a” (85,74) e da inclinação “b” (0,20) são, respectivamente, 0,75 e 0,05. Para as duas estimativas, o valor de “p” foi menor do que o nível alfa (0,05), sendo 0 (zero) para o intercepto “a” e 0,0010 para a inclinação “b”. Logo, os dois coeficientes são significativamente diferentes de zero. O coeficiente de determinação obtido foi de $R^2 = 67,62\%$ que explica 67,62% da variabilidade do rendimento com a porcentagem de sucata. O coeficiente de correlação “r” de 0,82 indica uma forte relação direta entre as variáveis.

No modelo de custo marginal, conforme mencionado no item 2.5, o rendimento aço líquido/carga metálica permanecia constante independente da porcentagem de sucata no convertedor. Portanto, foi incluída no modelo a equação 10 que se refere ao impacto no rendimento aço líquido/carga metálica com a variação da porcentagem de sucata. Os resultados dos custos médios variando-se o percentual de sucata sem impacto e com impacto no rendimento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos custos médios da placa comercial sem e com impacto no rendimento com a variação do percentual de sucata.

Sucata (%)	Sem impacto		Com impacto	
	Rendimento (%)	Custo Médio (R\$/t)	Rendimento (%)	Custo Médio (R\$/t)
13,0	89,37	1030	89,34	1030
13,5	89,37	1029	89,44	1028
14,0	89,37	1027	89,54	1026
14,5	89,37	1026	89,64	1023
15,0	89,37	1024	89,74	1021

Fonte: Autor.

Observa-se na Tabela 1 que os custos médios da placa comercial para ambos os casos vão reduzindo à medida que vai aumentando a produção de placa com o aumento da porcentagem de sucata. Isto se deve ao fato que com o aumento da sucata de 13% até 15%, não é necessário ligar equipamento, portanto os custos fixos estão diluindo com o aumento da produção. Comparando os custos médios da placa sem impacto e com impacto, verifica-se que os custos médios com impacto são menores do que os custos médios sem impacto para a mesma porcentagem de sucata, o que é explicado pela melhoria do rendimento com o aumento da participação de sucata, mantendo-se o gusa constante.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dos custos marginais sem impacto e com impacto no rendimento para os incrementos de produção de placa comercial por meio do aumento da porcentagem de sucata mantendo-se o gusa constante.

Tabela 2 – Resultados dos custos marginais sem impacto e com impacto para os incrementos de produção por meio do aumento da porcentagem de sucata.

Aumento de sucata (%)	Sem impacto		Com impacto	
	Δ Placa (kt)	CMg (R\$/t)	Δ Placa (kt)	CMg (R\$/t)
13,0% para 13,5%	18,5	763	22,1	763
13,5% para 14,0%	18,7	763	22,4	763
14,0% para 14,5%	18,9	757	22,6	756
14,5% para 15,0%	19,2	755	22,9	753

Fonte: Autor.

Pela Tabela 2, mantendo-se o salto constante de 0,5% observa-se que em ambos os casos, o custo marginal vai reduzindo à medida que a porcentagem de sucatas vai aumentando. Não houve diferença do custo marginal (763 R\$/t) para os saltos de 13,0% para 13,5% e de 13,5% para 14,0%. A diferença é maior quando o rendimento aço líquido/carga metálica é maior, como por exemplo, para 14,0%, 14,5% e 15,0% que possuem rendimentos de 89,54%, 89,64% e 89,74%, respectivamente, em comparação ao rendimento constante de 89,37%. Esta diferença é devida à carga metálica do convertedor, pois marginalmente, o consumo de sucata de aço interna e sucata de aço adquirida é menor para um rendimento aço líquido/carga metálica maior. Apesar do impacto ser no máximo 2 R\$/t no custo marginal da placa comercial, é importante considerá-lo nas análises.

4.1.3 Sucata e consumo de outros materiais refrigerantes

Da mesma forma que no item 3.1.1, primeiramente foram avaliados os dados da Aciaria 1 e da Aciaria 2 e, em seguida, avaliado as duas aciarias em conjunto.

Na Figura 25 é mostrada a evolução da porcentagem de sucata e o consumo de outros materiais refrigerantes (sínter e carepa) na Aciaria 1.

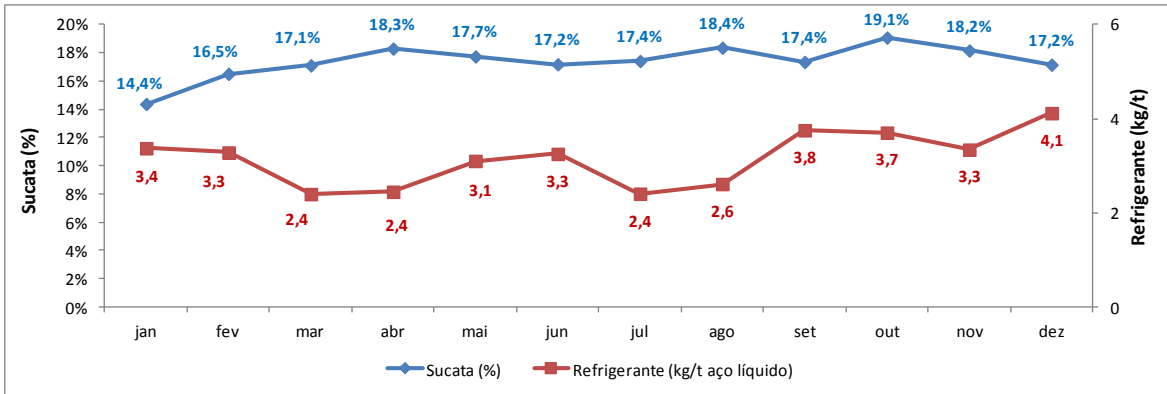


Figura 25 – Evolução do consumo de sucata e refrigerantes da Aciaria 1.

Tanto as sucatas de aço e de gusa quanto o sínter e a carepa são materiais refrigerantes no convertedor. Pela Figura 25, não foi observado um comportamento que quanto maior a porcentagem de sucata na carga metálica, menor o consumo de refrigerantes.

O resultado da regressão linear entre o consumo de sucata e o consumo de outros materiais refrigerantes na Aciaria 1 está apresentado na Figura 26.

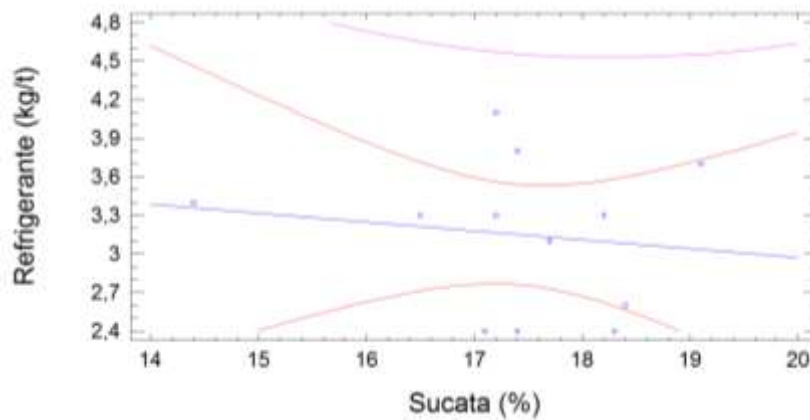


Figura 26 – Regressão linear entre o consumo de sucata e o consumo de refrigerante da Aciaria 1.

Na Figura 27 está apresentado o modelo para a análise de regressão linear simples entre o consumo de sucata e o consumo de outros materiais na Aciaria 1.

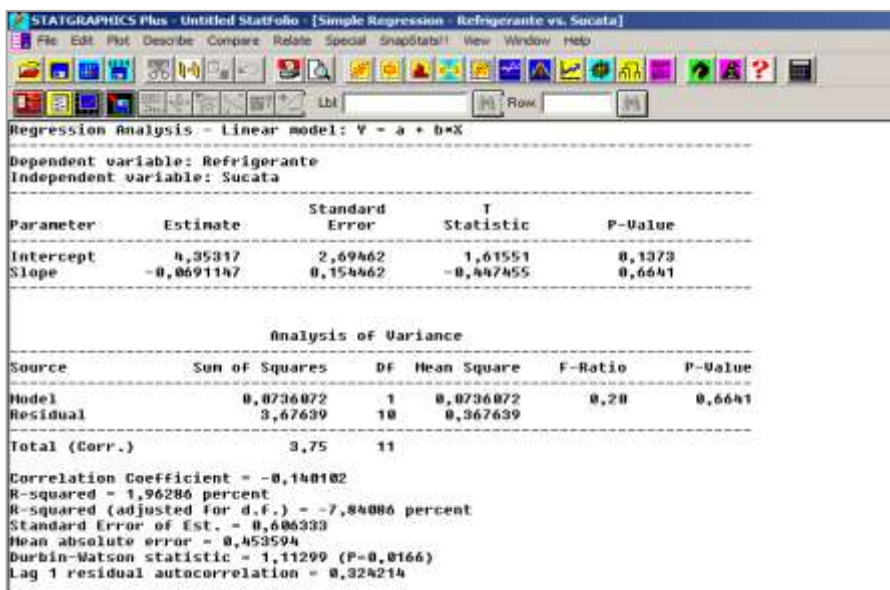


Figura 27 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e outros materiais refrigerantes na Aciaria 1.

Pelos resultados apresentados nas Figuras 26 e 27, verifica-se que não houve correlação linear entre o consumo de sucata e o consumo de outros materiais refrigerantes. O valor de “p” foi maior do que o nível alfa (0,05). O coeficiente de determinação obtido foi de $R^2 = 1,96\%$ e o coeficiente de correlação “r” foi de -0,14. Enquanto que o carregamento da sucata é realizado no início da operação do convertedor, a adição de outros materiais refrigerantes para o controle térmico do aço é feito, principalmente, no final do sopro. Nas etapas intermediárias, outros fatores afetam o balanço térmico do convertedor, como por exemplo, a temperatura do gusa, a utilização de calcário, entre outros.

Na Figura 28 é mostrada a evolução da porcentagem de sucata e o consumo de outros materiais refrigerantes na Aciaria 2.

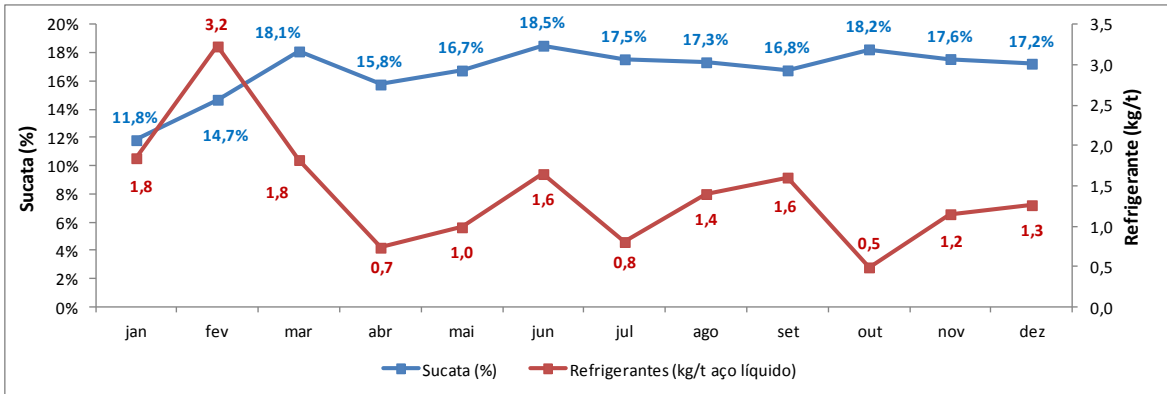


Figura 28 – Evolução do consumo de sucata e refrigerantes da Aciaria 2.

Da mesma forma com o comportamento observado na Aciaria 1, na Aciaria 2 não foi verificada uma tendência de quanto maior a proporção de sucata na carga metálica, menor o consumo de refrigerantes.

O resultado da regressão linear entre o consumo de sucata e o consumo de refrigerantes no convertedor na Aciaria 2 está apresentado na Figura 29.

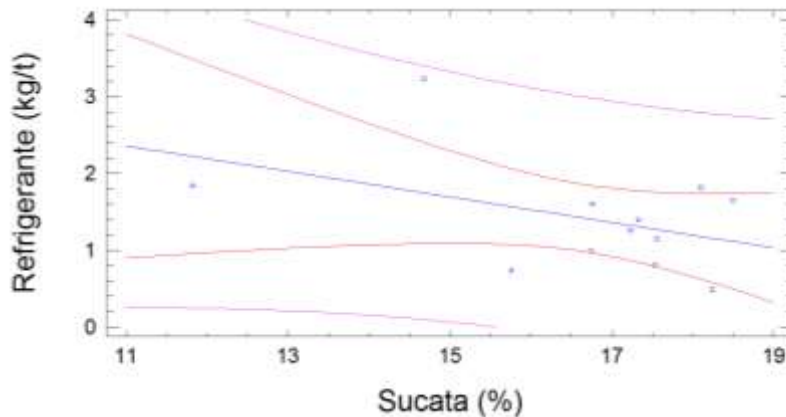


Figura 29 – Regressão linear entre o consumo de sucatas o consumo de outros materiais refrigerantes na Aciaria 2.

Na Figura 30 está apresentado o modelo para a análise de regressão linear simples entre o consumo de sucata e o consumo de outros materiais na Aciaria 2.

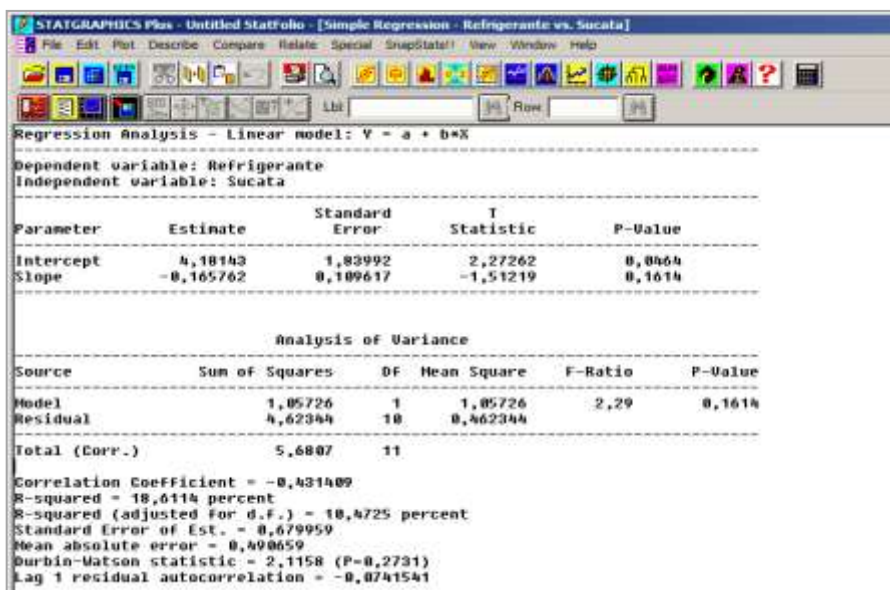


Figura 30 – Resultado da correlação linear simples entre consumo de sucata e outros materiais refrigerantes na Aciaria 2.

Pelos resultados apresentados nas Figuras 29 e 30, verifica-se que não houve correlação linear entre o consumo de sucata e o consumo de outros materiais refrigerantes. O valor de “p” foi maior do que o nível alfa (0,05). O coeficiente de determinação obtido foi de $R^2 = 18,61\%$ e o coeficiente de correlação “r” foi de -0,43.

Uma vez que não foram encontradas correlações entre o consumo de sucata e o consumo de outros materiais refrigerantes nas duas aciarias, optou-se por não fazer o cálculo para as duas. Os resultados obtidos mostram a necessidade de uma análise mais aprofundada de outros fatores do processo que afetam o balanço térmico do convertedor, de forma que possam ser utilizados para a definição de novas variáveis para um modelo de regressão múltipla.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliados os dados operacionais por corrida da Aciaria 1 e da Aciaria 2 de Ipatinga no período de janeiro a dezembro de 2013 visando identificar como a porcentagem de sucata influencia no rendimento aço líquido/carga metálica e no consumo de outros materiais refrigerantes (sínter e carepa) e os seus respectivos impactos no custo médio e no custo marginal da placa comercial.

Referente à análise estatística dos dados coletados, observou-se uma correlação direta entre a porcentagem de sucata e o rendimento aço líquido/carga metálica tanto na Aciaria 1 (43,63%) quanto na Aciaria 2 (58,98%). Uma vez que o comportamento obtido foi semelhante entre as duas aciarias de Ipatinga, optou-se por obter a correlação das duas aciarias juntas para incluí-la no modelo de custo marginal. O resultado obtido, neste caso, foi (67,62%). Tal resultado está de acordo com a literatura, pois quanto maior a proporção de sucata na carga metálica do convertedor (teor de ferro maior do que o do gusa líquido), maior o rendimento aço líquido/carga metálica. A equação que descreve o modelo foi incluída no modelo de custo marginal. Os resultados mostraram que para porcentagens abaixo de 14,0%, não houve muita diferença no custo médio e no custo marginal da placa nas análises sem e com impacto do rendimento. Entretanto, para porcentagens acima de 14,0% na carga metálica, houve diferença de 3 R\$/t e de 2 R\$/t no custo médio e no custo marginal da placa, respectivamente, quando comparada com os custos sem impacto do rendimento.

Quanto à análise estatística dos dados de consumo de outros materiais refrigerantes (sínter e carepa) não foram obtidas correlações lineares com o consumo de sucata. Tanto na Aciaria 1 quanto na Aciaria 2 foram obtidos valores de correlações muito baixos, 1,96% e 18,61%, respectivamente. Além do consumo de refrigerantes no convertedor, outros fatores afetam o balanço térmico, como por exemplo, a temperatura e a qualidade do gusa líquido, a utilização de calcário, entre outros.

Como trabalho futuro, propõe-se realizar uma análise mais aprofundada de outras variáveis que afetam o balanço térmico do convertedor e tentar correlacioná-las com o consumo de sucatas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARÃO, Celso Dias. *Aciaria a Oxigênio*. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, Cap. 11 – ABM, 2011.
- BESANKO, D.; BRAEUTIGAM, R. R. *Microeconomia uma Abordagem Completa*. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- BOLOTA, J., R. Introdução à Siderurgia. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), Cap. VII: Refino Secundário dos Aços, pág. 189 - 215. São Paulo, 2007.
- CAMPOS, V. F. *Tecnologia de Fabricação de Aço Líquido – Fundamentos*. Vol. 1, 1980, pag. 173.
- FREUND, J., E., SIMON, G., A. *Estatística Aplicada: Economia, Administração e Contabilidade*. Ed. Bookman, 2000.
- GARRISON, R. H.; NOREEN, E.W.; BREWER, P. C. *Contabilidade gerencial*. 14ª Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 772p.
- GEERDES, M.; TOXOPEUS, H.; VLIET, C. *Modern Blast Furnace Ironmaking – An Introduction*. Second Edition, Netherlands, 2009. Cap. 1, pag. 1 – 10.
- IUNES, Roberto F. *A Concepção Econômica de Custos*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 1995. p.227-247.
- MALYNOWSKYJ, A. Introdução à Siderurgia. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), Cap. V: Fabricação de Aço Líquido em Conversor a Oxigênio, pág. 125 - 167. São Paulo, 2007.
- MONTGOMERY, C. D.; RUNGER, G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 6ª Edição, Cap XI, LTC, 2016.
- PETERNELLI, Luiz Alexandre. Capítulo 9 - Regressão linear e correlação. Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~peterneli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>.
Acessado em: 30/10/2016.

VENDRUSCOLO, M .I. *Estudo da Estrutura de Custos e da Economia de Escala de Setor de Telecomunicações Móveis do Brasil Pós-Privatizações*. 2007. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Contábeis. Universidade Vale dos Rios dos Sinos. São Leopoldo, 2007.

WORLD STEEL ASSOCIATION. Disponível em:

<https://www.worldsteel.org/statistics/crude-steel-production0.html>

Acessado em

10/10/2016.