

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

JEAN CARLOS DOS SANTOS

**AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FORNOS DE FUSÃO:
UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

JEAN CARLOS DOS SANTOS

**AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FORNOS DE FUSÃO:
UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jean-Marc Stephane Lafay

PATO BRANCO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ação de Eficiência Energética em Fornos de Fusão:

Um estudo de caso

Jean Carlos dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 21/03/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Dalmarino Setti
(UTFPR)

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
(UTFPR)

Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que estiveram comigo a todo momento e esperaram por esse momento tanto quanto eu. Dedico também à empresa Fersul, espero que o trabalho seja continuamente aplicado à essa empresa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao curso de Engenharia Mecânica que mudou completamente meu jeito de pensar e de resolver problemas. Muitas experiências vividas dentro do meio acadêmico eu carregarei comigo durante toda minha vida pessoal e profissional. Não me vejo como profissional em outro setor.

Agradeço à Deus por me mostrar o caminho que devo seguir para realizar meu sonho profissional. Agradeço aos meus pais, João e Elizete, por todo apoio nos momentos difíceis e por acreditar tanto quanto eu que era possível alcançar os meus sonhos. Agradeço a minha irmã, Jeane Carla, pelo companheirismo principalmente na reta final da faculdade quando esteve presente fisicamente comigo e me fez me sentir que estava em casa. Agradeço à minha namorada, Amanda Cintra, que me apoiou intensamente e me ajudou quando mais precisei mesmo estando distante.

Agradeço os colegas de curso que propiciaram uma experiência única que levarei comigo durante toda minha jornada. Agradeço os colegas de república, em especial o Luís e o Wagner que estiveram comigo desde o início da faculdade. Agradeço às equipes que tive o privilégio de participar, a Associação Atlética Acadêmica das Engenharias da UTFPR e ao Pato Baja.

Agradeço à empresa Fersul que acreditou no meu trabalho e abriu as portas para realizar esse estudo. Agradeço primeiramente ao Eleomar que foi o responsável por me aceitar no ambiente de trabalho, agradeço ao Rafael e ao Cleber por compartilhar do seu tempo e sempre se mostrarem dispostos a me auxiliar no que foi preciso para atingir os resultados esperados. Agradeço aos colaboradores Carlos, Diego, Luiz, Anderson e Valmir por aceitarem participar do treinamento e possibilitar melhorias dentro da indústria.

Um agradecimento especial ao professor Jean-Marc por ter sido muito mais que um orientador de trabalho de conclusão, e sim um mentor no início da minha vida profissional, podendo citar desde o apoio no trabalho na disciplina de Energia e Eficiência Energética que posteriormente abriu as portas para a realização desse estudo que me colocou no mercado de trabalho. Agradeço os componentes da banca pela disponibilidade de assistir ao meu trabalho. Agradeço à UTFPR por proporcionar o curso de extrema qualidade com professores totalmente capacitados.

Guardo todos em meus pensamentos. Foi uma experiência incrível. Estou muito orgulhoso do meu trabalho.

EPÍGRAFE

Whether you think you can or you think you can't, you're wright.
(FORD, Henry).

Se você pensa que pode ou se pensa que não pode de qualquer forma você está certo. (FORD, Henry).

RESUMO

DOS SANTOS, Jean Carlos. Ação de eficiência energética em fornos de fusão: Um estudo de caso. 2019. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa de fundição. Destaca pesquisas realizadas em relação ao consumo energético em fornos de fusão, com enfoque nos fornos elétricos de indução e tem como objetivo a implementação de uma ação de eficiência energética com retorno imediato e propostas de ações com investimento inicial cujo retorno à longo prazo. Traz como resultado as economias causadas pela redução do consumo energético após a aplicação da ação de eficiência energética.

Palavras-chave: Ação de Eficiência Energética. Fundição. Forno de fundição elétrico por indução.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Jean Carlos. Action plan for energy efficiency in melting furnaces: a case study. 2019. 91 p. Undergraduate Thesis – Mechanical Engineering, Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2019.

This paper presents a case study carried out in a metal-mechanic foundry company. It highlights researches related with energy consumption in melting furnaces, focused on electric induction furnaces and its objective is an application of action plan for energy efficiency with immediate term return and proposes of long-term return on investment. It demonstrates savings from reducing energy rates after the enforcement of action plan for energy efficiency.

Keywords: Action Plan for Energy Efficiency. Foundry. Electric Induction Furnaces.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de linha de base.	22
Figura 2- Visor eletrônico mostrando a potência no forno 5.....	29
Figura 3- Termômetro Heraus Electro.	29
Figura 4- Potenciômetro do forno 5.....	30
Figura 5- Entulho de sucata.....	30
Figura 6- Aço em forma de sucata.	30
Figura 7- Aço em blocos compensados.	31
Figura 8 - Retorno.....	31
Figura 9- Jateadora.....	31
Figura 10- Carbono grafite.	32
Figura 11- Pirita.	32
Figura 12 - Ferro cromo.....	32
Figura 13- Manganês.....	32
Figura 14 - Ferro silício.	33
Figura 15 - Estanho.....	33
Figura 16 - Cobre.	33
Figura 17 – Amostra em forma de medalha.	35
Figura 18 – Cadinho para obter a amostra de metal líquido.	35
Figura 19 – Molde em formato negativo da medalha.	35
Figura 20 – Planta baixa da empresa.	38
Figura 21 – Fluxograma do processo de fusão do metal.	48
Figura 22 – Fluxograma atualizado do processo de fusão do metal.....	50
Figura 23 - Relatório gerencial de energia emitido pela Atmo,	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Porcentagem de consumo de cada setor na indústria Fersul.	40
Gráfico 2 – Linha de base.	42
Gráfico 3 - Linha do tempo da fornada descrita na Tabela 8.....	46
Gráfico 4 – Linha de base x consumo real.....	53
Gráfico 5 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 55.....	78
Gráfico 6 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 59.....	80
Gráfico 7 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 61.....	81
Gráfico 8 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 63.....	84
Gráfico 9 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 65.....	85
Gráfico 10 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 67.....	88
Gráfico 11 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 69.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Divisões de micro e macro etapas no processo de carregamento dos metais.	34
Tabela 2 – Dados obtidos dos equipamentos do setor de fundição.....	39
Tabela 3 – Consumo energético de cada setor.....	40
Tabela 4 - Dados das variáveis independentes.....	42
Tabela 5 – Dados coletados no dia 14/07/2018 no forno 6.....	43
Tabela 6 – Resumo dos dados da tabela 4.....	43
Tabela 7 – Consumo específico dos fornos na etapa de carregamento.....	44
Tabela 8 – Consumo específico dos fornos na etapa de correção.....	45
Tabela 9 – Dados do carregamento do forno 6 no dia 03 de agosto com início às 7:50.....	46
Tabela 10 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 9.....	47
Tabela 11 – Resumo das tabelas do apêndice C.....	48
Tabela 12 – Comparativo entre a linha de base e o consumo energético.....	52
Tabela 13 - Indicador do consumo energético.....	54
Tabela 14 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem de areia verde.....	58
Tabela 15 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem cura a frio.....	58
Tabela 16 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem cold box.....	58
Tabela 17 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem.....	58
Tabela 18 – Dados obtidos nos equipamentos dos escritórios.....	59
Tabela 19 – Dados obtidos nos equipamentos da desmoldagem.....	59
Tabela 20 – Dados obtidos nos equipamentos do laboratório.....	59
Tabela 21 – Dados obtidos nos equipamentos do acabamento.....	60
Tabela 22 – Dados obtidos nos equipamentos da casa de máquinas.....	60
Tabela 23 – Dados obtidos nos equipamentos da manutenção.....	60
Tabela 24 – Dados obtidos nos equipamentos do preparo da areia verde.....	61
Tabela 26 – Dados obtidos nos equipamentos das torres de resfriamento.....	61
Tabela 27 – Dados coletados no dia 14/07/2018 no forno 4.....	62
Tabela 28 – Resumo dos dados da tabela 27.....	62
Tabela 29 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 6.....	63
Tabela 30 – Resumo dos dados da tabela 29.....	63
Tabela 31 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 2.....	64
Tabela 32 – Resumo dos dados da tabela 31.....	64
Tabela 33 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 6.....	65
Tabela 34 – Resumo dos dados da tabela 33.....	65
Tabela 35 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 2.....	66
Tabela 36 – Resumo dos dados da tabela 35.....	66
Tabela 37 – Dados coletados no dia 18/07/2018 no forno 6.....	67
Tabela 38 – Resumo dos dados da tabela 37.....	67
Tabela 39 – Dados coletados no dia 19/07/2018 no forno 2.....	68
Tabela 40 – Resumo dos dados da tabela 39.....	68
Tabela 41 – Dados coletados no dia 19/07/2018 no forno 4.....	69
Tabela 42 – Resumo dos dados da tabela 41.....	69
Tabela 43 – Dados coletados no dia 24/07/2018 no forno 5.....	70

Tabela 44 – Resumo dos dados da tabela 43.....	70
Tabela 45 – Dados coletados no dia 24/07/2018 no forno 6.....	71
Tabela 46 – Resumo dos dados da tabela 45.....	71
Tabela 47 – Dados coletados no dia 25/07/2018 no forno 2.....	72
Tabela 48 – Resumo dos dados da tabela 47.....	72
Tabela 49 – Dados coletados no dia 25/07/2018 no forno 5.....	73
Tabela 50 – Resumo dos dados da tabela 49.....	73
Tabela 51 – Dados coletados no dia 25/07/2018 no forno 5.....	74
Tabela 52 – Resumo dos dados da tabela 41.....	75
Tabela 53 – Dados coletados no dia 26/07/2018 no forno 6.....	75
Tabela 54 – Resumo dos dados da tabela 53.....	75
Tabela 55 – Dados coletados no dia 31/07/2018 no forno 6.....	76
Tabela 56 – Resumo dos dados da tabela 55.....	76
Tabela 57 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 03 de agosto com início às 7:50.	77
Tabela 58 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 57.....	77
Tabela 59 – Dados do enchimento do forno 5 no dia 03 de agosto com início às 8:55.	78
Tabela 60 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 59.....	79
Tabela 61 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 03 de agosto com início às 15:30.	80
Tabela 62 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 61.....	81
Tabela 63 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 04 de agosto com início às 09:40.	82
Tabela 64 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 63.....	83
Tabela 65 – Dados do enchimento do forno 5 no dia 04 de agosto com início às 10:51.	84
Tabela 66 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 65.....	85
Tabela 67 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 07 de agosto com início às 12:05.	86
Tabela 68 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 67.....	87
Tabela 69 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 14 de agosto com início às 13:26.	88
Tabela 70 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 69.....	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.2.1 Realização de diagnóstico energético e curva de tendência	16
1.2.2 Realização de diagnóstico, Fluxograma e curva de tendência sobre o consumo dos fornos de fusão	16
1.2.3 Aplicação de ação de eficiência energética na indústria?	16
1.2.4 Comparação do indicador de eficiência energética antes e após a ação de eficiência energética	16
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO	18
2.2 ETAPAS DE FUNDIÇÃO DA FUSÃO	19
2.3 O CONSUMO DE ENERGIA NAS EMPRESAS DE FUNDIÇÃO	19
2.4 O GOVERNO E AS AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	20
2.5 PESQUISAS SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	21
2.6 CÁLCULO DA ECONOMIA DE ENERGIA	22
2.7 CONSUMO ENERGÉTICO NOS FORNOS	23
3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)	24
3.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO E CURVA DE TENDÊNCIA DA EMPRESA FERSUL	25
3.1.1 Procedimentos para o diagnóstico energético na Empresa Fersul	26
3.1.2 Procedimento para a obtenção da linha de base do consumo energético na Empresa Fersul	27
3.2 DIAGNÓSTICO, FLUXOGRAMA E CURVA DE TENDÊNCIA SOBRE O CONSUMO DOS FORNOS	27
3.2.1 Procedimento para o diagnóstico energético nos fornos de fusão	28

3.2.2 Procedimento para realização do fluxograma dos fornos.....	34
3.2.3 Obtenção da linha de base dos fornos	36
3.3 PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .	36
3.4 Comparativos dos indicadores de eficiência energética antes e após a ação de eficiência energética.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO NA EMPRESA	38
4.1.1 Resultado do diagnóstico energético na indústria	38
4.1.2 Resultado da linha de base da indústria.....	41
4.2 RESULTADOS NO SETOR DE FUSÃO	42
4.2.1 Diagnóstico energético no setor de fusão	43
4.2.2 Fluxograma do setor de fusão	48
4.2.3 Linha de base dos fornos de fusão	50
4.3 RESULTADOS DA AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	52
4.4 Comparativo do indicador de consumo energético na EMPRESA fersul	53
5 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A – EQUIPAMENTOS DOS DEMAIS SETORES DA FERSUL	58
APÊNDICE B – CONSUMO EM FORNADAS NO MÊS DE JULHO DE 2017	62
APÊNDICE C – CONSUMO EM FORNADAS NO MÊS DE AGOSTO DE 2017.....	77
ANEXO A – FATURA ENERGÉTICA DO MÊS DE DEZEMBRO DE 2017.....	91

1 INTRODUÇÃO

A maioria das empresas brasileiras que apresentam potencial de redução de consumo energético não foram estudadas, dentre as empresas, as que possuem grande gasto com energia possuem maior capacidade, como por exemplo empresas de fundição, onde o terceiro maior custo é com a tarifa energética.

É inegável a grande participação que as indústrias do ramo metal mecânica exerce sobre nosso dia a dia. Todo e qualquer objeto que tenha sofrido, em algum momento de sua fabricação, uma transformação de um metal em um produto desejado, certamente passou por alguma fábrica desse ramo como por exemplo a fundição em bloco de motor e polias, e a conformação mecânica em tubos e tarugos. Não devemos apenas pensar em automóveis ou eletrodomésticos, mas até cosméticos e alimentos passaram, dentro da fábrica, por maquinários automatizados que exerceram um trabalho que poderia ser feito por um operário, porém muito mais rápido e constante. Indústrias que trabalham com formas complexas, como por exemplo o bloco de motor do carro de ferro fundido ou alumínio ou juntas de bronze, e peças que são fabricadas em grandes lotes, como o pé de um fogão a lenha, são do ramo da fundição.

Indústrias de fundição ocupam um grande espaço no mercado nacional e internacional. Vários são os fatores que explicam isso, além dos citados anteriormente, podemos destacar o preço extremamente reduzido em grandes lotes e vários tipos de ligas e materiais que podem passar por esse processo. Para obter a forma e composição desejada, os metais são fundidos em fornos, cujos principais e mais utilizados são os fornos cubilô e fornos elétricos.

Dentre os fornos elétricos podemos destacar o forno por indução, pois é um dos mais utilizados porque têm um ótimo rendimento quando comparado aos outros modelos e conseqüentemente mais economia, além disso, os controles de temperatura e de composição final são mais precisos. Entretanto, fornos elétricos de indução são grandes consumidores de energia. O funcionamento de um forno desse tipo baseia-se numa corrente induzida por uma bobina que envolve um cadinho, que é o local onde está o metal, ou seja, o metal é fundido por conseqüência da corrente induzida sobre ele. Conseqüentemente, o consumo energético dentro das indústrias do ramo de fundição é uma grande preocupação dos empresários, pois sabem que

redução no consumo resulta na redução dos custos, sendo assim, podem oferecer um preço mais competitivo.

Redução do consumo energético não é exclusivo apenas para empresas desse ramo. Podemos destacar vários setores que buscam ações de eficiência energética para reduzir esses gastos. A relação monetária não é a única razão para buscar mais eficiência nas indústrias, mas também leis e acordos que regulamentam as emissões de poluentes estão presentes em todo o mundo, podemos enfatizar este fato com as ações que o governo brasileiro vem tomando em prol da redução das tarifas energéticas, subsidiando os que buscam essas ações. Sendo assim, medidas para melhorar o rendimento da energia são uma busca e um foco que pode diferenciar as empresas. As medidas podem ser das mais variadas maneiras, desde um treinamento dos funcionários até troca de equipamentos, e muitas vezes essas ações tem efeito imediato, sem ter nenhum custo.

O primeiro passo para sugestão de uma ação de eficiência energética é ter um conhecimento e entendimento de como é o consumo de energia na empresa, realizando um diagnóstico energético que de fato mostrará os vilões dentro da indústria, que por muitas vezes pode ser um fator desconhecido entre os empresários. Com o diagnóstico realizado e devidamente validado, pesquisas devem ser feitas para apontar possíveis soluções para redução do consumo energético, focando principalmente nos vilões do consumo.

Várias ferramentas podem ser utilizadas durante a análise, sendo elas fluxogramas que mostram o segmento da energia, gráficos que expressam a tendência do consumo energético e como este consumo está dividido dentro da indústria, tabelas mostrando como foram feitos os cálculos e as hipóteses de possíveis reduções, e claro, uma boa gestão da energia será alcançado utilizando esses passos sempre focando na redução da despesa energética.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho apresenta um estudo de caso na indústria de fundição que utiliza fornos elétricos por indução, tendo como principal objetivo aplicar uma ação de eficiência energética focada nos fornos de fusão de caráter gerencial com retorno imediato.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Realização de diagnóstico energético e curva de tendência

Foi realizado um diagnóstico energético em toda empresa, buscando qual é o principal consumidor de energia dentro da indústria. Espera-se que os fornos sejam os grandes consumidores de energia.

Cálculos serão feitos para obter uma curva tendência que utiliza variáveis independentes que regem o consumo da fábrica.

1.2.2 Realização de diagnóstico, Fluxograma e curva de tendência sobre o consumo dos fornos de fusão

Foi feito um acompanhamento nos fornos de fusão para obter as etapas que os forneiros realizam para fundir o metal. Com este estudo, foi feito um fluxograma e posteriormente uma curva de tendência que apresenta as principais variáveis independentes que regem o consumo nos fornos.

1.2.3 Aplicação de ação de eficiência energética na indústria?

Após encontrar as principais etapas consumidoras dentro do forno, uma ação de eficiência energética será apresentada para a empresa.

Com as propostas devidamente estudadas, deverá ser feito uma implementação da ação de eficiência energética e comparar o consumo energético com o estipulado pela curva de tendência descrita no item 1.2.1.

1.2.4 Comparação do indicador de eficiência energética antes e após a ação de eficiência energética

A validação da ação de eficiência energética foi feita por meio do comparativo do indicador de consumo energético específico na Fersul, que é dado pela razão do consumo energético mensal e a quantidade de metal derretido no mês.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho será dividido da seguinte maneira: Referencial teórico, tópico que abrange uma pesquisa realizada em trabalhos, normas feitas por organizações, artigos, teses no contexto da eficiência energética focando principalmente em fornos de fusão, a grande maioria das referências são internacionais, sendo que em cada região é apresentado um consumo ideal, dado que não foi encontrado referente ao Brasil. Metodologia, item que apresenta como a pesquisa foi regida dentro da indústria, separando por etapas e focos, iniciando a pesquisa na indústria em questão como um todo e terminando em foco nos fornos de fusão presentes na mesma. Resultados e discussões, item que destaca os resultados obtidos dentro da empresa, separado por etapas no processo de fundição, abrangendo quais são os principais consumidores na empresa e quais são as possíveis medidas de ação de eficiência energética que podem reduzir o consumo de energia da indústria. Conclusões, subdivisão que enfatiza a importância do trabalho realizado, mostrando o grande benefício para a indústria e quais podem ser as futuras pesquisas sobre o tema, e quais são os possíveis assuntos que necessitam de um aprofundamento mais rigoroso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2016), o mercado mundial de fundição gera empregos para quase 60000 pessoas, e lucrou cerca de 5,5 bilhões de dólares em 2015, em aproximadamente 1200 empresas, sendo que a grande maioria é de pequeno e médio porte.

Dentre as principais matérias primas podemos destacar o ferro gusa, que representa 60%, mas também tem participação considerável ligas de ferro e o alumínio, que vem crescendo cada vez mais no Brasil, terceiro maior produtor desse minério (ABIFA, 2016).

Toda matéria que o Brasil utiliza na fundição é de origem nacional, o que representa que nosso país tem total independência nesse ramo, e não apenas matéria-prima, mas também bentonita, resinas e areia de fundição utilizadas para os moldes (ELETROBRAS, 2010).

Casotti et al (2010) afirma que a produção de objetos fundidos no Brasil é de aproximadamente 3 milhões de toneladas por ano, fator que coloca nosso país como sétimo maior produtor global. A crise fez com que a produção caísse em 2011 para cerca de 2,4 milhões de toneladas, entretanto, o Brasil se recuperou no ano seguinte (ABIFA, 2016).

Casotti et al (2010) ressalta que o setor automobilístico é o que mais tem demanda com produtos fundidos, representando cerca de 60 % do mercado consumidor desses produtos em 2009. A oitava maior frota de automóveis encontra-se no Brasil, com cerca de 35 milhões de veículos, fator que justifica a grande produção nesse país (ABIFA, 2016).

Existem cerca de 1340 empresas de fundição apenas no Brasil, sendo que quase a metade possui fornos elétricos de indução (MME, 2010), e cerca de 62% de toda a produção de fundidos vem desse modelo de forno (ABIFA, 2016), mostrando a grande representatividade desses equipamentos.

2.2 ETAPAS DE FUNDIÇÃO DA FUSÃO

Primeiramente, deve-se separar o metal que será fundido, este podendo ser ferro gusa, sucata, aço, entre outros (BCS, 2005). O forno deverá ser pré-aquecido para evitar explosões, reduzir o consumo energético, entre outros fatores benéficos. Após isto, deve-se encher o forno até obter a quantidade de metal líquido desejado (BCS, 2005).

Durante o processo de carregamento deve-se fazer o tratamento no metal para obter a composição desejada. Este tratamento é feito por meio da adição de elementos ligantes, como carbono, estanho e cobre, e deve-se tomar cuidados para evitar micro e macro porosidades consequentes das reações químicas desses elementos. Normalmente são necessárias algumas análises de amostra para fazer correções da composição e então obter a matéria final desejada (BCS, 2005).

Com o metal devidamente derretido, deve-se fazer o transporte do mesmo até os moldes, esse transporte pode ser realizado pelos mais diversos tipos de painéis de transporte (BCS, 2005).

Soares (2010) explica que o metal líquido é vazado em molde, que contém o formato negativo da peça desejada. Este molde é fabricado normalmente de areia, e tem como base um modelo, que é essencialmente o formato idêntico da peça final (SOARES, 2010).

Após a solidificação do metal, alguns processos devem ser realizados para obter o produto final desejado, entre eles podemos destacar a usinagem, rebarbação, corte de canais e pintura (SOARES, 2010).

2.3 O CONSUMO DE ENERGIA NAS EMPRESAS DE FUNDIÇÃO

Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2016), países emergentes tiveram resultados consideráveis em ações de eficiência energética, com aproximadamente 14% de melhorias, economia que gira em torno de 450 toneladas equivalentes de petróleo (TEP), o suficiente para abastecer o Japão durante um ano.

Segundo relatórios do Brasil (2015), o consumo do setor metalúrgico tem participação de 21,6 % do total da energia consumida na indústria, sendo equivalente a 9,5 % de toda matriz energética brasileira. Se considerarmos apenas a energia

elétrica, esse setor é responsável por 26,3 % do consumo na indústria, e 12, 2% no país (BRASIL, 2015).

Considerando apenas o setor de fundição, 52 % do consumo energético é proveniente da eletricidade (BRASIL, 2015). Simões et al (2010) afirma que o Brasil tem potencial de economia da energia elétrica no setor de fundição de 65881 TEP (toneladas equivalentes de petróleo), sendo que 77 % é proveniente apenas dos fornos, total que representa 0,3% de toda matriz energética brasileira.

Segundo uma pesquisa realizada por Andrade (2016), nas pequenas e médias indústrias de fundição, aproximadamente 75 % de todo o consumo energético é proveniente dos fornos de fusão, sendo que o ideal seria em torno de 56 %. Isso mostra a grande falta de acompanhamento e de uma boa gestão de energia nas fábricas desse segmento.

2.4 O GOVERNO E AS AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As preocupações por parte do país em questões de eficiência energética surgiram principalmente pela crise do petróleo de 1973-74 e 1979-81, que fizeram com que os ministros percebessem que é inviável mantermos uma dependência tão significativa desse recurso, fazendo que o governo abrisse as portas para melhorias na eficiência com consequência da redução do consumo de seus derivados (SOUZA ET AL, 2011).

O Brasil vem evoluindo muito em ações de eficiência energética, tanto em termos de conhecimento e legislação, quanto em questões de consciência e carência por reduções no consumo (SOUZA ET AL, 2011).

Souza et al (2011) afirma que o Ministério de Minas e Energia retomou o planejamento do setor de energia implementando o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030), cujo incorpora ações de eficiência energética nas análises e cita um futuro Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf).

Souza et al (2011) cita que o PNE2030 tem como objetivo reduzir a demanda de energia em 5 % em forma de um progresso autônomo, e ainda mais 5 % como uma meta estabelecida através do progresso induzido, detalhada no PNEf. Todos esses fatores e planejamentos mostram a preocupação que o Brasil tem em reduzir o consumo energético, que tem por consequência reduzir as emissões de poluentes para o meio ambiente.

O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) estabilizou-se no Brasil em 1985, com o intuito de publicar e distribuir documentos referentes a economia de energia em vários setores da indústria, programa que de tempos para cá, juntamente com o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) são reconhecidos internacionalmente (SOUZA ET AL, 2011).

2.5 PESQUISAS SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nas últimas décadas, pesquisas sobre eficiência energética em indústrias vem aumentando consideravelmente, porém, metade das indústrias que apresentam bom potencial para reduzir o consumo energético ainda não foram desbravadas, pois muitas vezes o consumo energético não é um fator preocupante para os empresários, até que eles tenham conhecimento da possível economia com uma boa gestão de energia (IEA, 2007). Pesquisas apontam que se incluir um sistema de gestão eficaz dentro da indústria, esse potencial pode ser ainda maior (BACKLUND et al, 2012). Brunke et al (2014) afirma que existe várias barreiras para a não adoção de uma ação de eficiência energética, podemos destacar entre elas a prioridade de investimento em outros setores da indústria, alguns possíveis riscos e falta de competência técnica. Schulze et al (2015) complementa afirmando que a dificuldade dessas implementações é devido ao sistema de energia ser muito complexo em várias indústrias. Schulze et al (2015) aponta que o principal meio de obter uma ação de eficiência energética na indústria com sucesso é com uma boa gestão e organização.

Schulze et al (2015) afirma que, historicamente, as empresas não tinham preocupação nenhuma com o consumo energético, visto que seu custo era meramente insignificante e eram poucas as preocupações por questões ambientais, entretanto, esse patamar vem alterando significativamente, pois o preço da energia está aumentando num ritmo considerável. Por consequência, as empresas vêm adotando métodos de gestão de energia que trazem como benefícios melhor aproveitamento da energia e redução do consumo e dos custos, tornando a empresa mais competitiva. Entretanto, o termo de gestão de energia não tem um significado estável no âmbito da literatura, com vários autores definindo esse termo de maneiras diferentes (BACKLUND ET AL, 2011).

Tendo em vista os diferentes conceitos de gestão de energia, Schulze et al (2015) sugere um método de aplicar esse termo, tomando como base uma revisão rigorosa abrangendo vários autores e publicações, este método baseia em 5 pilares, sendo eles: estratégia e planejamento, implementação e operação, controle, organização e cultura.

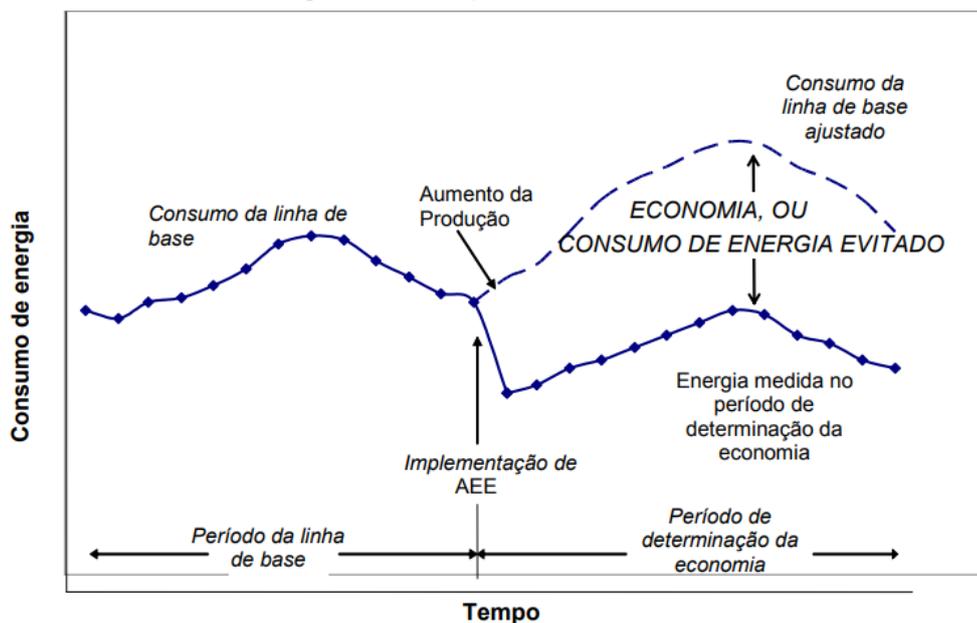
Apesar dos múltiplos conceitos sobre gestão de energia, é inquestionável a importância que a mesma exerce sobre ações de eficiência energética em vários setores industriais.

2.6 CÁLCULO DA ECONOMIA DE ENERGIA

A *Efficiency Valuation Organization* (EVO, 2012) ressalta que é impossível calcular a economia de energia diretamente, uma vez que ela é a ausência do consumo energético. Portanto, essa economia deve ser calculada comparando o consumo anterior com o consumo posterior à implementação da ação de eficiência energética (EVO, 2012).

Para fazer essa comparação, deve-se utilizar a linha de base energética, que é um gráfico que mensura o possível consumo energético da fábrica caso ela não tivesse implementado uma ação de eficiência energética. Um exemplo de linha de base é mostrado na figura 1 (EVO, 2012):

Figura 1- Exemplo de linha de base.



Fonte: EVO, 2012

Para construir a linha de base, é necessário ter conhecimento de quais são as variáveis independentes, que são variáveis que podem mudar regularmente e causam um grande impacto no consumo energético (EVO,2012). Qualquer fator que influencie diretamente o consumo energético dentro de uma empresa pode ser uma variável independente.

Outra ferramenta que pode ser utilizada para mensurar o consumo energético é o fluxograma. O *Program Evaluation Review Technich* (PERT) foi desenvolvido pelo *Special Projects Office* (SPO, 1958) na década de 50. O PERT é uma ferramenta em forma de fluxograma que ilustra as etapas no processo que se deseja conhecer melhor juntamente com o tempo gasto em cada uma dessas etapas, buscando um melhor planejamento e identificando quais são as possíveis melhorias dentro do processo.

2.7 CONSUMO ENERGÉTICO NOS FORNOS

Soares (2010) explica que o funcionamento dos fornos elétricos por indução a cadinho baseia-se na indução da corrente elétrica direto para o metal a ser derretido, quando o mesmo funciona como núcleo magnético secundário, sendo que a capacidade de fundição do forno depende da frequência da corrente que ele induz, ou seja, quanto maior a frequência, maior sua capacidade e conseqüentemente maior seu preço.

A energia elétrica é a maior fonte de aquecimento na fusão?, representando mais da metade das indústrias brasileiras, seguida pelo coque vindo do carvão mineral, óleo combustível e óleo diesel (SIMÕES ET AL, 2010).

Em termos de eficiência energética, adotar-se-á as medidas equivalente de quilowatt hora por tonelada de metal fundido (kWh/Ton), indicador amplamente utilizado na literatura. Pesquisas da Comissão Europeia (2005) indicam que os valores são de aproximadamente 500 a 600 kWh/Ton no velho continente para fornos elétricos, enquanto que para fornos americanos esse valor é de 530 – 600 kWh/Ton (SCHIFO, 2004).

Simões et al (2010) justifica a diminuição do consumo específico, tanto de energia quanto de energia térmica pelo fato de empresas brasileiras terem adotado uma gestão de energia mais rigorosa, justificando assim a grande preocupação com redução do consumo energético.

3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

A Fersul Fundição é uma empresa do ramo metal-mecânica que produz peças fundidas em ferro fundido de variadas formas e tamanhos. Atualmente, a empresa conta com setenta e cinco funcionários trabalhando em dois turnos e divididos em doze setores, sendo eles: manutenção, preparo da areia verde, laboratório, acabamento, rebarbação, desmoldagem, moldagem coldbox, escritório, modelação, moldagem em areia verde, moldagem cura a frio e fusão.

A empresa conta com uma área total construída de 3000 m², e com laboratórios próprios para avaliação e desenvolvimento de novos produtos. A média da produção líquida da empresa é 250 toneladas por mês.

A Fersul possui 6 fornos de indução, sendo 2 com potência de 400 kW e capacidade de 300 kg, 2 com potência de 800 kW e capacidade de 700 kg e dois com potência de 1000 kW e capacidade de 1000 kg.

as cargas dos fornos são formuladas com sucata de ferro fundido, sucata de aço, canais e massalotes e peças rejeitadas do processo e complementadas com elementos de liga.

A rebarbação, quebra de canal, limpeza e jateamento, e polimento de algumas peças são todas realizadas na empresa. Apenas a usinagem é realizada em outra unidade.

A empresa desenvolve e produz peças técnicas em ferro fundido cinzento e nodular para os seguintes segmentos: agrícola, bens de capital, ferroviária, bombas, válvulas e elevadores.

A Fersul conta com uma tensão contratada de 13200 volts do mercado cativo (COPEL), e compra energia do mercado livre, por meio da empresa ATMO Energia.

A tarifa energética da empresa é o terceiro maior custo, o que fez com que os gestores buscassem formas e abrissem as portas para realizar esse estudo com objetivo de reduzir seu consumo energético.

3.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO E CURVA DE TENDÊNCIA DA EMPRESA FERSUL

No primeiro semestre de 2017, na disciplina de Energia e Eficiência Energética, um grupo de alunos do qual o autor fazia parte fez um diagnóstico referente ao consumo energético de toda a fábrica a fim de obter quais setores são os principais consumidores dentro da indústria.

A primeira visita foi especificamente para conhecer um pouco do trabalho e da organização utilizada na mesma. Um colaborador auxiliou explicando como era todo o processo de fundição, juntamente com as etapas realizadas em cada setor. Sendo assim, com ajuda do funcionário, foi mais fácil dividir a empresa por setores, sendo eles:

- Acabamento: Setor responsável por fazer a rebarbação lixamento e esmerilhamento e das peças que a empresa produz.
- Casa de máquinas: A empresa utiliza ar comprimido para diversas finalidades, como desmoldagem com máquinas pneumáticas e limpeza de peças, e para isso, conta com motores que fazem a compressão do ar.
- Desmoldagem: Setor em que as peças são retiradas dos moldes.
- Escritório: Parte de indústria onde se encontra os gestores bem como o RH.
- Fornos (Fusão): Setor onde encontram-se os fornos elétricos por indução da Fersul.
- Laboratório: Setor da empresa onde está todo o sistema de qualidade. Responsável por fazer a análise da areia utilizada nos moldes e composição química das peças, tanto no ferro fundido que está no forno quanto nas peças antes e depois do acabamento.
- Manutenção: Setor responsável por fazer as manutenções corretivas dos equipamentos da empresa.
- Modelação: Setor responsável por fabricar os modelos das peças que serão produzidas. Os modelos podem ser de alumínio ou madeira.

- Moldagem Areia Verde: Com esses moldes são feitas peças técnicas que requerem uma precisão dimensional relativamente elevada.
- Moldagem *Cold Box*: Setor responsável por fazer os moldes utilizados principalmente em chapas de fogão à lenha.
- Moldagem Cura a Frio: Setor responsável pelos moldes utilizados em peças grande e que não requerem uma precisão dimensional muito elevada.
- Preparo da Areia Verde: Setor responsável por realizar a preparação e mistura da areia verde que será utilizada na confecção dos moldes.
- Rebarbação:
- Sistema de exaustão: Todo o sistema de exaustores que se encontram na empresa.
- Torres de resfriamento: Equipamentos responsáveis por fazer o resfriamento das bobinas dos fornos.

3.1.1 Procedimentos para o diagnóstico energético na Empresa Fersul

Durante os meses de abril, maio e junho o grupo fez 6 visitas na empresa para obter características e dados sobre os equipamentos utilizados, separando por setores.

Nas informações coletadas constam o tempo diário de uso do equipamento, quantidade de dias utilizados, fator de potência, potência, tensão e corrente.

Com os dados de cada setor devidamente coletados foi possível identificar de fato quais os setores que mais consomem energia elétrica e quais são as subdivisões que foram possíveis de aplicar uma ação de eficiência energética com sucesso.

3.1.2 Procedimento para a obtenção da linha de base do consumo energético na Empresa Fersul

Durante as visitas foram analisadas as tarifas energéticas da Fersul, tanto as contas do mercado livre quanto do mercado cativo. Para tanto, foi considerado o consumo líquido do Relatório Gerencial de Energia disponibilizado pela empresa ATMO bem como o consumo ponta e o consumo fora ponta constado na Conta de Energia Elétrica emitido pela COPEL, exemplo da tarifa da Atmo se encontra no anexo A.

Foi feito um gráfico com auxílio do *software* Microsoft Office Excel 2013 por meio da ferramenta projeção linear (proj.lin) utilizando variáveis que podem determinar o consumo energético da empresa.

A curva foi utilizada como base para calcular uma possível redução do consumo energético após uma ação de eficiência energética que foi aplicada ao final desse estudo, aplicando as técnicas encontradas no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho (EVO, 2012)

3.2 DIAGNÓSTICO, FLUXOGRAMA E CURVA DE TENDÊNCIA SOBRE O CONSUMO DOS FORNOS

Foi feito um acompanhamento junto aos colaboradores responsáveis pela fusão nos fornos de indução. Para facilitação da descrição dos processos realizados nesse trabalho, os fornos foram enumerados de 1 a 6, obedecendo a seguinte sequência:

Fornos 1 e 2 são os fornos de menor potência, 400 kW. Por questões de problemas técnicos que não serão abordados nesse trabalho o forno 1 se encontra impossibilitado de realizar fusão, portanto, o mesmo não será estudado.

Fornos 3 e 4 são os fornos de 700 kW de potência. Por questões de problemas técnicos que não serão abordados nesse trabalho o forno 3 se encontra impossibilitado de realizar fundição, portanto, o mesmo não será estudado.

Fornos 5 e 6 são os fornos de 1000 kW e não apresentam nenhuma diferença entre si.

Tomando como base a etapas descritas no tópico 2.2 e a própria organização da empresa, todo o processo de fusão do metal até a chegada do mesmo nos moldes será subdividido em macro etapas da seguinte forma:

- Carregamento: Todo processo de enchimento dos fornos, considerando todos os materiais que são colocados dentro do mesmo, como sucata, aço e elementos ligantes.
- Correção da composição: Etapa que ocorre fora dos fornos, porém exige que os mesmos permaneçam ligados. A análise da composição é feita por meio de um espectrofotometro que fornece análise química do metal fundido, e a partir desta se pode realizar se necessário a correção a fim de obter a composição desejada.
- Vazamento: Etapa em que o metal é vazado para a panela e posteriormente para os moldes para se obter a peça fundida.

3.2.1 Procedimento para o diagnóstico energético nos fornos de fusão

A etapa de diagnóstico energético foi dividida conforme as macro etapas descritas no item 3.2.

3.2.1.1 Diagnóstico nas etapas de correção da composição e vazamento

Na primeira parte, foram priorizadas as etapas de correção da composição e vazamento do forno, foram feitas planilhas no *software* Microsoft Office Excel registrando a potência do forno mostrada no visor eletrônico (figura 2), o início e fim em que foi registrada essa potência e a temperatura medida com o termômetro Electro da marca Heraeus (figura 3). Com a potência e o tempo permanecido na mesma foi possível calcular a energia consumida nesse intervalo, fazendo um somatório por meio do comando soma no *software* será possível calcular o consumo energético em cada uma das macro etapas.

Com o consumo devidamente calculado, foi possível determinar o consumo específico para a fusão do metal (kWh/Ton.), e posteriormente comparar com o consumo específico apresentado na literatura. Esta foi a melhor forma de determinar o quanto é possível economizar com ações de eficiência energética.

Figura 2- Visor eletrônico mostrando a potência no forno 5.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 3- Termômetro Heraeus Electro.



Fonte: Autoria própria (2019).

Este processo foi realizado quatro vezes no forno 2, apenas duas vezes no forno 4 por que o mesmo passou por manutenções, nove vezes no forno 5 e seis vezes no forno 6.

Com as quinze Tabelas totalmente prontas foi elaborada uma única tabela com os resultados obtidos, calculando o somatório do consumo energético de todas as tabelas. Posteriormente, foi realizado a soma das possíveis medidas para redução do consumo separando em subcategorias que serão descritas no item 3.2.2.

3.2.1.2 Diagnóstico na etapa de carregamento do forno

A segunda etapa de diagnóstico nos fornos de fusão foi focada preferencialmente na etapa de enchimento do forno visando melhor compreensão de o que determina o consumo energético na fornada, quais matérias necessitam de mais energia para fundir e quais procedimentos podem aumentar ou reduzir o consumo durante este tempo. Foi elaborada uma planilha no *software* Microsoft Office Excel registrando a potência do forno mostrada no visor eletrônico, porcentagem acionada pelo colaborador no potenciômetro do forno (figura 4) e o início e fim em que foi registrada essa potência. Além dessas informações, o material a ser vazado e as matérias-primas que compõe o enchimento do forno também foram apontados.

Figura 4- Potenciômetro do forno 5.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Dentre as principais matérias-primas, podemos destacar a sucata que normalmente é maior porção do carregamento do forno, esta regularmente é composta por bloco de motores, calotas de caminhão, entre outras peças, a figura 5 mostra uma foto retirada do entulho de sucata. O aço que pode ser em forma de sucata (Figura 6), ou em forma de blocos compensados com pouca sujeira (Figura 7). O retorno que é oriundo de refugo (peças não aprovadas pelo controle de qualidade) e maçalotes e canais que estão presentes na fundição (Figura 8). Retorno jateado que é o retorno quando está limpo após ser jateado pela máquina jateadora (figura 9). Retorno líquido que é metal líquido restante na panela quando o mesmo acaba sobrando e não tem mais moldes para fabricação das peças. A empresa normalmente não faz jateamento do retorno, portanto, foram feitos alguns testes para obter algumas amostras.

Figura 5- Entulho de sucata.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 6- Aço em forma de sucata.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 7- Aço em blocos compensados.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 8 - Retorno.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 9- Jateadora.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Com base no tipo de sucata e retorno foi feito uma breve classificação das mesmas, sendo a sucata subdivida em sucata grande, sucata média, sucata pequena, bloco de motor, sucata de laminado e calota.

Os principais elementos ligantes que são colocados no forno são o carbono grafite (Figura 10), carbono de petróleo, carburante, pirita (Figura 11), ferro cromo (Figura 12), manganês (Figura 13), ferro silício (Figura 14), estanho (Figura 15) e cobre (Figura 16).

Figura 10- Carbono grafite.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 11- Pirita.



Fonte: Aatoria própria (2019)

Figura 12 - Ferro cromo.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 13- Manganês.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 14 - Ferro silício.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 15 - Estanho.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 16 - Cobre.



Fonte: Autoria própria (2019).

A planilha descrita anteriormente foi feita cinco vezes tomando como base as informações do forno 6 e três vezes tomando como base o forno 5 em fornadas que utilizaram sucata, retorno jateado e retorno líquido, e aço, além dos elementos ligantes para atingir a composição desejada.

Foi feita uma planilha que consta a quantidade dos principais componentes responsáveis pelo enchimento do forno obtidos anteriormente, que são eles: sucata de ferro fundido, retorno, retorno jateado, retorno líquido, aço, carburante de grafite,

carburante de petróleo, carburante e potência média do forno durante o enchimento, esses dados foram necessários para o procedimento descrito no tópico 3.2.3.

3.2.2 Procedimento para realização do fluxograma dos fornos

Com o decorrer do acompanhamento nos fornos foi feito um fluxograma aperfeiçoando a pré-divisão pelas macro etapas descritas no item 3.2, este seguiu o modelo PERT.

Este fluxograma apresentou uma sequência lógica dividida em micro etapas, mostradas na Tabela 1, que são realizadas toda vez que o metal é fundido. O forno foi considerado o volume de controle. Dados dos materiais e informações necessárias para o funcionamento do forno também foram registrados. O fluxograma foca no tempo gasto e potência média acionada pelos colaboradores em cada uma das micro etapas.

Tabela 1 - Divisões de micro e macro etapas no processo de carregamento dos metais.

Macro etapas	Micro etapas
Carregamento do forno	Carregamento
Correção da composição	Obtenção da amostra Análise da amostra Correção da amostra
Vazamento	Vazamento

Fonte: Autoria própria (2019).

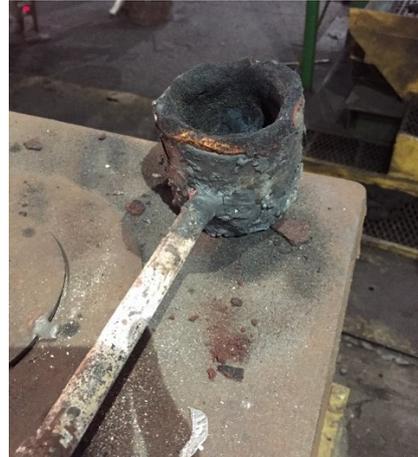
A obtenção da amostra, que tem o formato geométrico semelhante a uma medalha (Figura 17), é o processo em que o forneiro retira uma pequena quantidade de metal líquido do forno com auxílio de um cadinho (Figura 18) e derrama o mesmo em um molde (Figura 19). Feito isto, ele entrega a medalha para o técnico responsável pela análise.

Figura 17 – Amostra em forma de medalha.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 18 – Cadinho para obter a amostra de metal líquido.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 19 – Molde em formato negativo da medalha.



Fonte: Autoria própria (2019).

A análise da medalha é feita no laboratório com auxílio de um espectrômetro. Feito isso, o *software* Spark Analyzer MX, que está conectado com o espectrômetro, mostra qual é a quantidade de cada elemento presente na amostra (medalha), sendo assim, o técnico calcula qual é quantidade faltante de cada elemento na fornada, então ele repassa essa informação para o forneiro que fará a correção da composição.

A correção da composição, também nomeada correção da medalha no ambiente de trabalho, é feita pelo forneiro adicionando ao forno a quantidade faltante de cada elemento de liga.

O fluxograma descrito anteriormente utiliza como base os dados que foram obtidos seguindo o tópico 3.2.1.2. Com esses dados devidamente copilados, alguns

dados referentes a fusão foram fornecidos pelos técnicos e engenheiros, mais precisamente a temperatura de vazamento do metal, sendo assim, foi possível comparar o dado fornecido pelos profissionais com os dados coletados no diagnóstico.

Na macro etapa de correção da medalha foi analisado o tempo gasto para realizar a tarefa e a potência estabelecida pelo funcionário. Foram feitos alguns testes para determinar qual é a potência ideal para apenas manter a temperatura do forno enquanto os colaboradores realizam essa macro etapa, e qual é o tempo aceitável para realizar determinada tarefa. Com esses dados calculados, foi feita uma comparação entre eles e os dados obtidos no diagnóstico.

Na etapa de vazamento, a temperatura de vazamento foi a variável estudada. Comparando os dados obtidos com o diagnóstico e os dados fornecidos pelo engenheiro foi possível determinar se os operários estão seguindo as orientações.

Com a potência ideal e o tempo gasto aceitável na macro etapa de correção e a temperatura de vazamento do procedimento de operação foi possível fazer um novo fluxograma energeticamente mais eficaz.

3.2.3 Obtenção da linha de base dos fornos

Foi feito um gráfico com auxílio do *software* Microsoft Office Excel por meio da ferramenta projeção linear (proj.lin) buscando quais são as possíveis variáveis independentes que regem o consumo energético dos fornos durante a macro etapa de carregamento do forno.

O gráfico foi composto por coeficientes empíricos com unidade kWh/kg. Foram consideradas como variáveis independentes a sucata, aço, retorno, retorno jateado, retorno líquido, carburante de grafite, carburante de petróleo.

Este gráfico tomará como base as planilhas descritas na etapa do item 3.2.1.2.

3.3 PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As tabelas e gráficos descritos no item 3.1 e 3.2 foram analisadas. Os seguintes passos foram tomados para estimar a redução do consumo energético na Fersul:

1. Calcular, com base nos resultados do item 3.1, qual é o consumo energético gerado pelo forno.
2. Apresentar possíveis medidas para redução do consumo energético descritos na primeira parte do item 3.2.1. Essas propostas foram demonstradas aos funcionários por meio de um treinamento. O treinamento focou no tempo gasto e na potência média acionada pelos colaboradores no potênciomento de forma a reduzir essas duas variáveis
3. Realizar um treinamento com os colaboradores responsáveis por obter o metal fundido.
4. Comparar o consumo energético com a linha de base descrita no tópico 3.1.2.

3.4 COMPARATIVOS DOS INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ANTES E APÓS A AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com os dados levantados antes e após a implementação da ação de eficiência energética na Fersul, o indicador de consumo energético específico (kWh / Ton. De metal fundido) foi comparado com o intuito de validar a redução de consumo alcançada.

Para tanto, tomou-se como base o consumo energético global na empresa Fersul retirado do Relatório Gerencial de Energia fornecido pela empresa Atmo e a produção bruta mensal.

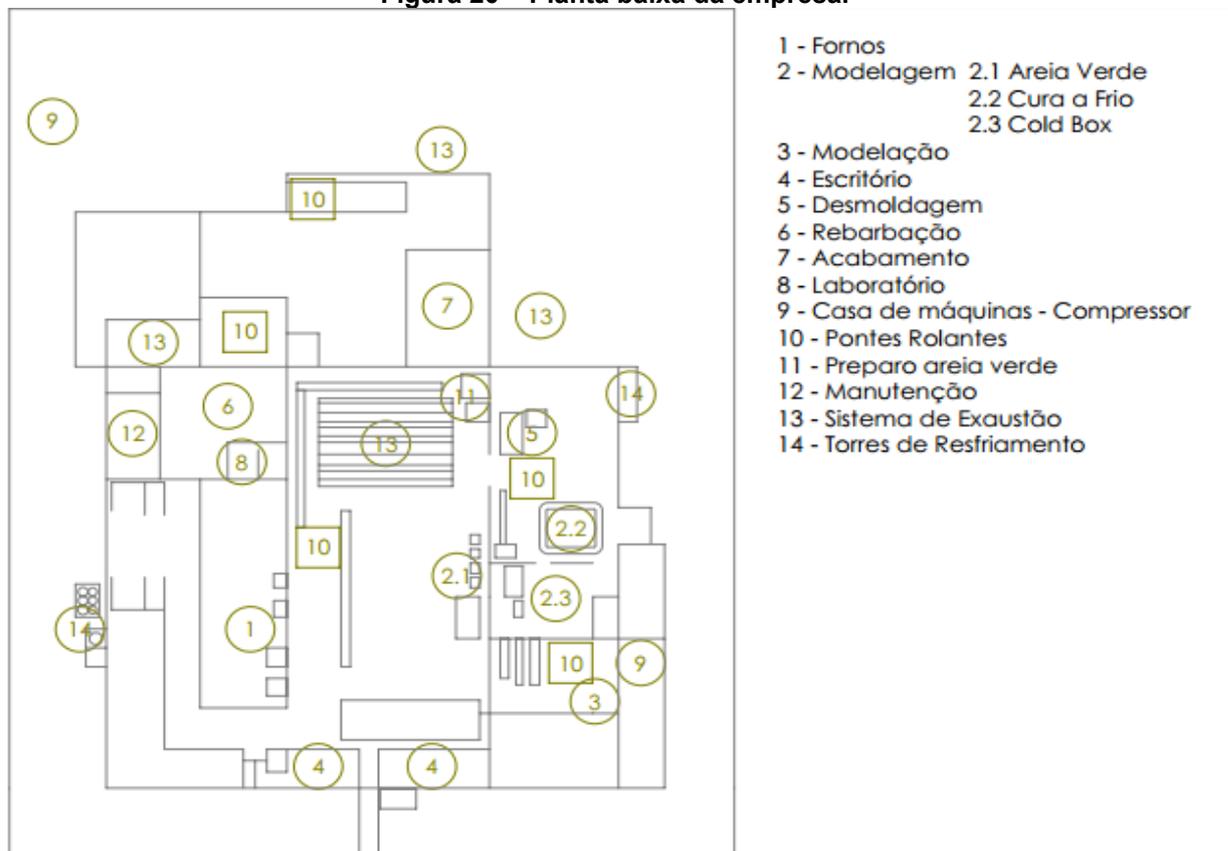
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A sequência descrita no capítulo 3 foi desenvolvida ao longo de 12 meses, com supervisão do professor orientador e dos engenheiros e responsáveis pela empresa.

4.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO NA EMPRESA

A figura 20 apresenta a planta baixa da empresa, apontando os setores analisados.

Figura 20 – Planta baixa da empresa.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.1.1 Resultado do diagnóstico energético na indústria

Os equipamentos de toda a empresa foram analisados a fim de coletar as principais características que influenciam no consumo energético total.

Obedecendo a divisão apresentada no tópico 4.1.1, os dados coletados de cada setor foram compilados utilizando o *software* Excel, e estão apresentados nas tabelas seguintes:

Tabela 2 – Dados obtidos dos equipamentos do setor de fundição.

Equipamento	Modelo	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Forno	800 kW	1	400,00	90%	4,0	28800,00
Forno	1400 kW	1	800,00	90%	4,0	57600,00
Forno	2000 kW	1	1000,00	90%	7,5	135000,00
Ponte Rolante 1	Guincho	1	5,52	90%	0,5	44,13
Ponte Rolante 2	Trolle	1	0,59	80%	0,5	4,70
	Testeiros	2	1,10	80%	0,5	17,65
	Guincho	1	5,52	80%	2,0	176,51
	Trolle	1	1,47	80%	2,0	47,07
	Testeiros	2	1,47	80%	2,0	94,14
Lâmpadas	Refletores	12	0,10	80%	16,0	307,20
Esteira		1	3,68	80%	16,0	942,08
Ventilador		2	0,25	80%	16,0	125,44
Talha		1	2,21	80%	3,0	105,98
Shake-Out		2	2,94	80%	1,0	94,21
Talha		4	1,50	80%	3,0	288,00
Aquecedor		1	0,18	80%	4,0	11,78
Misturador		1	3,68	80%	0,1	5,89
Motor hidráulico		2	7,36	80%	4,0	942,08
Lâmpadas	Refletores	6	0,04	80%	16,0	61,44

Fonte: Autoria própria (2019).

As tabelas contendo os equipamentos dos demais setores podem ser visualizadas no apêndice A.

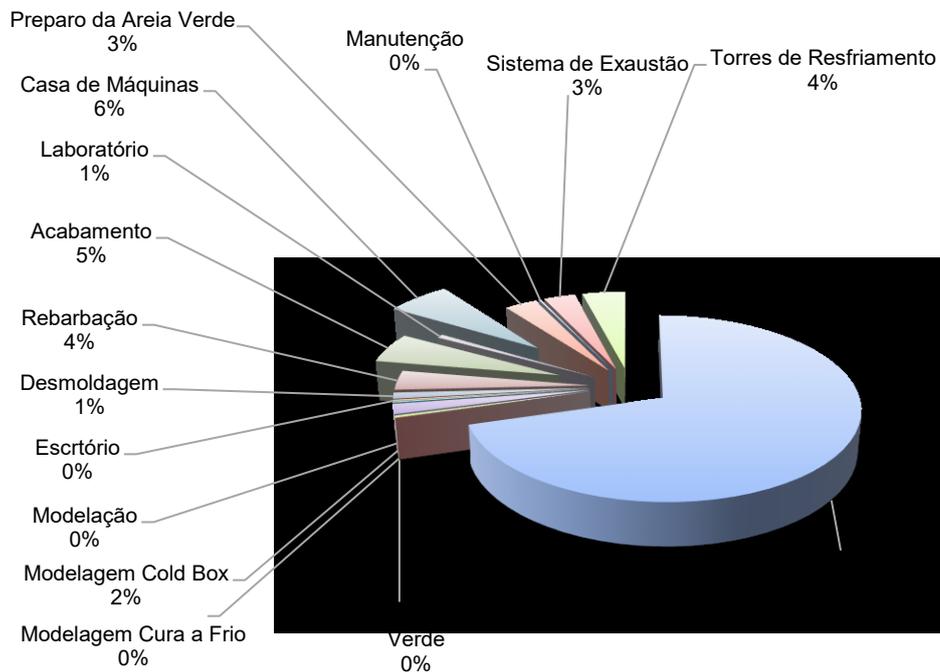
Com os dados obtidos nas tabelas anteriores, foi possível detectar quais são os maiores consumidores dentro da indústria estudada, os resultados encontram-se na Tabela 3 e no Gráfico 1.

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 2 e 3 e no Gráfico 2 fica claro que os principais consumidores de energia na Fersul são os fornos de fusão, fato que já era esperado devido ao grande tempo de uso e as elevadas potências dos mesmos. Sendo assim, uma ação de eficiência energética será mais proveitosa caso seja aplicada neste setor. A seção 4.2 abordará de forma mais profunda esta área.

Tabela 3 – Consumo energético de cada setor.

Setor	kWh/mês	Porcentual
Fornos	224.668,3	70,5%
Modelagem de areia verde	159,4	0,0%
Modelagem cura a frio	1.082,3	0,3%
Modelagem coldbox	5.715,4	1,8%
Modelação	689,5	0,2%
Escritório	797,4	0,3%
Desmoldagem	3.532,8	1,1%
Rebarbação	11.032,2	3,5%
Acabamento	16.984,9	5,3%
Laboratório	2.093,9	0,7%
Casa de máquinas	19.544,8	6,1%
Preparo de areia verde	9.679,9	3,0%
Manutenção	638,1	0,2%
Sistema de exaustão	9.420,8	3,0%
Torres de resfriamento	12.859,4	4,0%
Total	318.899,1	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 1 – Porcentagem de consumo de cada setor na indústria Fersul.

Fonte: Autoria própria (2019).

4.1.2 Resultado da linha de base da indústria

A curva de tendência foi feita utilizando como base os dados de consumo energético e outros fatores entre o mês de julho de 2016 e julho de 2017. Os dados que representaram os agentes contribuintes para a tarifa energética foram os dias trabalhados, quantidade média de trabalhadores durante o mês e produção bruta mensal, e estas são as variáveis independentes que regem a equação da linha de base. A quantidade média de trabalhadores, produção bruta e dias trabalhados são informações fornecidas pela Fersul por meio do relatório de produção mensal. O consumo energético também é fornecido pela empresa por meio do relatório gerencial de energia que pode ser visualizada no anexo A.

A Equação (1) apresenta o consumo energético na empresa Fersul calculado de forma empírica com auxílio do *software* Excel por meio da função projeção linear.

$$CEM = 0,78 * PB + 3,396 * DT + 0.758 * QC - 35.48$$

Em que CEM, PB, DT e QC correspondem ao consumo energético mensal (MWh), à produção bruta (Ton.), aos dias trabalhados e à quantidade média de colaboradores no mês, respectivamente.

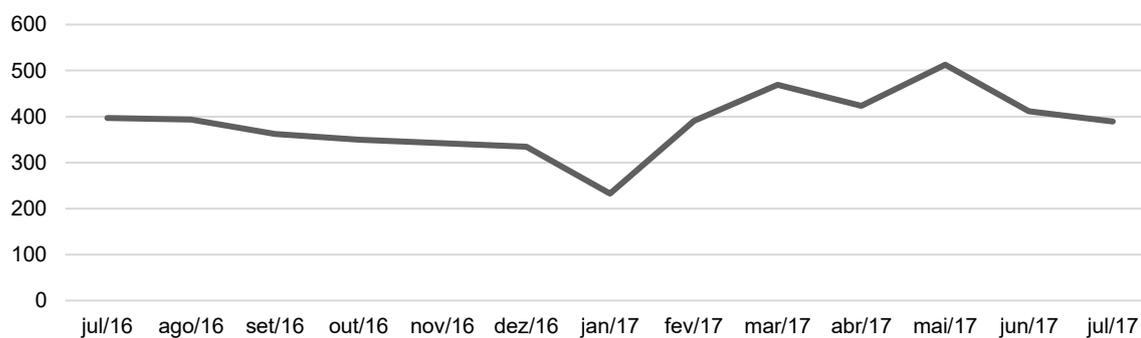
A Tabela 4 e o Gráfico 2 apresentam os dados das variáveis independentes e a linha de base, juntamente com um comparativo sobre o consumo real respectivamente.

A Equação (1) obteve um coeficiente de determinação de 0,993. A linha de base apresentada no Gráfico 2 será utilizada para calcular possíveis diferenças de consumo quando ações de eficiência energética forem aplicadas dentro da indústria em estudo.

Tabela 4 - Dados das variáveis independentes.

Mês	Produção bruta (Ton)	Número de trabalhadores	Dias úteis no mês	Linha de base (MWh)	Consumo Real (MWh)	Diferença (%)
jul-16	379	74	21	388	389	0.3%
ago-16	372	73	23	388	386	-0.6%
set-16	341	73	21	357	352	-1.5%
out-16	329	75	20	346	352	1.7%
nov-16	320	76	20	340	350	2.9%
dez-16	312	76	20	333	328	-1.7%
jan-17	213	83	12	235	232	-1.2%
fev-17	369	96	23	403	396	-1.8%
mar-17	456	100	23	475	480	1.1%
abr-17	415	100	18	425	425	-0.1%
mai-17	507	96	22	508	502	-1.2%
jun-17	396	96	21	417	425	1.8%
jul-17	371	85	21	390	389	-0.3%

Fonte: Autoria própria (2017).

Gráfico 2 – Linha de base.**Consumo da linha de base (MWh)**

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 RESULTADOS NO SETOR DE FUSÃO

Como apresentado no tópico 4.1.4, os fornos de fusão são os principais consumidores de eletricidade na empresa. Sendo assim, um diagnóstico e ação de eficiência energética focada nesse setor apresenta resultados mais satisfatórios.

4.2.1 Diagnóstico energético no setor de fusão

Neste tópico serão abordados os consumos energéticos subdivididos no macro etapas descritas no tópico 3.2.1.

4.2.1.1 Resultado do diagnóstico energético nas etapas de correção e vazamento

Foram feitas 16 análises. Os dados da tabela 5 foram obtidos entre os dias 14 e 31 de julho de 2017.

As demais tabelas podem ser visualizadas no apêndice B.

Tabela 5 – Dados coletados no dia 14/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	P (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:57:00	942	-	894,90
Carbono	-	942	-	-
Aquecimento p/ medalha	00:09:00	942	1413	141,30
Tirar escória	-	942	-	-
Medalha	00:03:00	0	1414	0,00
Queimar medalha	00:08:00	251	1438	33,47
Correção	00:04:00	251	1450	16,73
Enchimento	00:04:00	529	1409	35,27
Espera panela	00:05:00	166	1412	13,83
Vazamento	-	-	-	-
Total	01:30:00			1135,50

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 6 – Resumo dos dados da tabela 4.

Processo	Tempo (h)	P (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	1:10	918,40	1071,47	94,36%
Correção medalha	0:15	200,80	50,20	4,42%
Total	1:25	791,76	1121,67	98,78%

Fonte: Autoria própria (2019).

As cargas utilizadas nos fornos variam, entretanto, toda a produção é baseada na capacidade máxima dos fornos, sendo 1800 kg para os fornos 6 e 5, 1400 para os fornos 4 e 3 e 600 para os fornos 2 e 1. Enquanto essa pesquisa foi realizada, apenas os fornos 2, 4, 5 e 6 foram utilizados.

Para podermos estimar uma possível redução do consumo, primeiramente foi necessário calcular o consumo específico. Pesquisas apontam que este dado gira

em torno de 500 a 600 kWh/Ton para os fornos de fusão por indução (COMISSÃO EUROPEIA, 2005; SCHIFO, 2004). Com base nesses dados, podemos assumir que 550 kWh/Ton será um bom consumo específico. As Tabelas 7 e 8 apontam esse dado nas fornadas estudadas nesse artigo.

Tabela 7 – Consumo específico dos fornos na etapa de carregamento.

Dia	Forno	Tempo	Potência média (kW)	Energia consumida (kWh)	Consumo específico (kWh/Ton.)
14/3	6	01:10:00	918,4	1071,5	595,3
14/3	4	01:28:00	649,7	952,9	680,7
17/3	6	01:14:00	943,8	1164,0	646,7
17/3	2	01:33:00	305,6	473,7	789,5
17/3	6	01:04:00	947,4	1010,5	561,4
17/3	2	01:05:00	366,0	396,5	660,8
18/3	6	01:57:00	760,7	1483,4	824,1
19/3	4	01:33:00	652,4	1011,2	722,3
19/3	2	02:00:00	223,3	446,6	744,4
24/7	5	01:19:00	883,7	1163,5	646,4
25/7	5	01:13:00	906,2	1102,6	612,5
25/7	2	01:03:00	368,8	387,2	645,4
25/7	5	01:41:00	831,4	1399,5	777,5
26/7	6	00:53:00	961,9	849,7	472,0
31/7	6	01:22:00	746,8	1020,6	567,0
Total	-	20:35:00	-	13933,4	651,1
Média total	-	01:22:20	676,9	928,9	651,1

Fonte: Autoria própria (2019).

A etapa de carregamento do forno consome, em média, 651 kWh/Ton. de energia. Estudos apontam que 550 kWh é/Ton. é um consumo específico de fornos eficientes. Portanto, a etapa de carregamento apresenta um potencial de redução de consumo específico de 20%.

O consumo específico nessa etapa reduziu consideravelmente, o que já era esperado, pois a correção da medalha é feita na mesma temperatura de vazamento, ou seja, o forno deve ficar ligado apenas para manter a temperatura, e não mais para fundir, e por este motivo que devemos analisar o consumo específico apenas na etapa de carregamento. Entretanto, podemos verificar que a potência média utilizada nesta etapa estava muito elevada, na seção 4.2.2 mostrará qual é a potência ideal para apenas manter a temperatura do forno.

Tabela 8 – Consumo específico dos fornos na etapa de correção.

Dia	Forno	Tempo	Potência	Energia consumida (kWh)	Consumo específico (kWh/Ton.)
14/3	6	00:15:00	200,80	50,2	27,9
14/3	4	00:44:00	399,57	293,0	209,3
17/3	6	00:32:00	381,41	203,4	113,0
17/3	2	00:23:00	355,17	136,2	226,9
17/3	6	00:27:00	554,44	249,5	138,6
17/3	2	00:40:00	237,67	158,4	264,1
18/3	6	01:21:00	271,72	366,8	203,8
19/3	4	00:38:00	358,29	226,9	162,1
19/3	2	00:47:00	139,21	109,1	181,8
24/7	5	01:04:00	191,33	204,1	113,4
25/7	5	00:17:00	236,53	67,0	37,2
25/7	2	00:19:00	227,58	72,1	120,1
25/7	5	01:15:00	200,64	250,8	139,3
26/7	6	00:20:00	788,60	262,9	146,0
31/7	6	00:23:00	184,96	70,9	39,4
Total	-	09:25:00	-	2721,3	127,2
Média total	-	00:37:40	289,0	181,4	127,2

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1.2 Resultado do diagnóstico energético na etapa de Fusão

Na etapa de fusão é o momento que o forno fica ligado na maior potência possível para reduzir o tempo de operação. Alguns fatores limitam a capacidade do forno, entre eles a demanda contratada da empresa.

Foram feitos 8 acompanhamentos nos fornos 5 e 6 durante o mês de agosto de 2017 com o intuito de obter uma melhor avaliação correspondente ao consumo na etapa de fusão. Além do tempo quantificado foi também coletado informações da carga do forno. Para melhor entendimento do processo as etapas foram subdivididas em sete processos:

- Sucata de ferro fundido: momento em que a sucata foi adicionada ao forno;
- Retorno: momento em que o retorno foi adicionado ao forno;
- Aço: momento em que a sucata de aço foi adicionado ao forno;
- Escória: momento em que a escória foi retirada do forno;
- Inclinação: momento em que o forno foi inclinado;

- E. L. e correção: momento em que elementos ligantes foram adicionados no forno e momento da correção da amostra;
- Vazamento: Momento em que ocorreu vazamento do metal líquido na panela.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os dados compilados para uma fornada, as demais tabelas podem ser visualizadas no apêndice C.

Tabela 9 – Dados do carregamento do forno 6 no dia 03 de agosto com início às 7:50.

Informações	
Ferro Fundido	G4000
Sucata	980 kg
Retorno	0 kg
Retorno Jateado	550 kg
Retorno Líquido	0 kg
Aço	250 kg
Grafite	5 kg
Carbônio petróleo	5 kg
Carburante	5kg

Fonte: Autoria própria (2019).

Com base nas informações da Tabela 9 foi plotado o Gráfico 4 pontuando o exato momento que ocorre cada um dos processos, bem como a potência estabelecida no potenciômetro e a potência visualizada no visor. Os gráficos das demais fornadas podem ser visualizados no apêndice C.

Gráfico 3 - Linha do tempo da fornada descrita na Tabela 8.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 10 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 9.

	Elemento	Hora de início
Sucata	2 calotas	7:30
E.L. e Correção	Carbono ruim	7:31
Sucata	Sucata pequena	7:32
Retorno	Retorno metal líquido (100 kg)	7:33
Sucata	Calota	7:34
E.L. e Correção	Silício	7:40
Sucata	2 calotas	7:43
Sucata	2 calotas	7:49
Sucata	Sucata média	7:49
E.L. e Correção	Carbono bom	7:49
Retorno	Retorno jateado	7:56
Aço	Aço sucata	7:56
Sucata	Sucata laminado	8:08
Sucata	Calota	8:21
Escório	Escória	8:30
E.L. e Correção	Medalha	8:32
E.L. e Correção	Queima	8:35
Retorno	Retorno jateado	8:40
Escório	Escória	8:41
E.L. e Correção	Correção	8:41
E.L. e Correção	Medalha	8:56
E.L. e Correção	Queima	8:58
E.L. e Correção	Correção aço (30 kg)	9:03
Aço	Aço correção (30 kg)	9:04
Vazamento	1º Vazamento	9:09
Vazamento	2º Vazamento	9:24

Fonte: Autoria própria (2019).

As informações descritas nas tabelas do apêndice B estão resumidas na Tabela 11.

Tabela 11 – Resumo das tabelas do apêndice C.

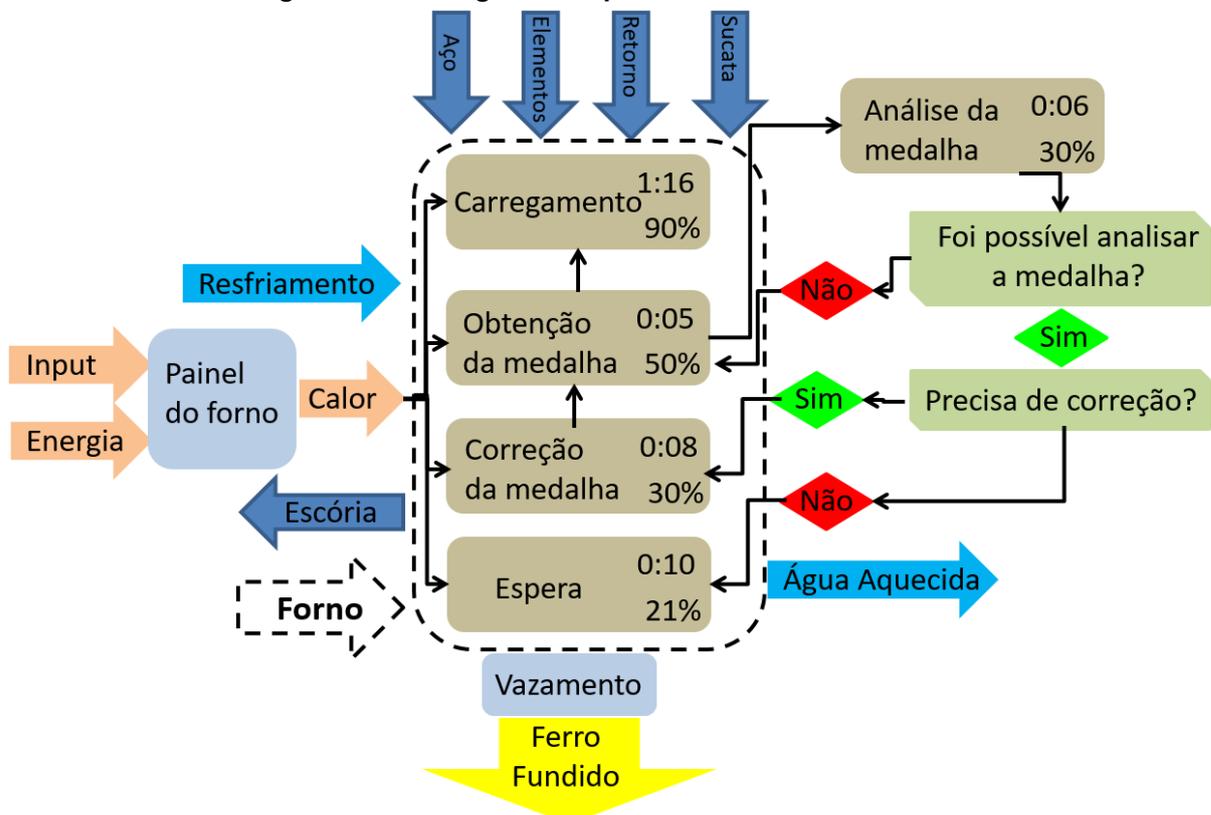
Tabela	Sucata (kg)	Retorno (kg)	Retorno Jateado (kg)	Líquido (kg)	Aço (kg)	Carburantes (kg)	Energia (kWh)
8	980	0	550	100	250	0	964
55	700	800	0	200	200	25	826
57	1000	500	0	200	200	20	989
59	750	900	0	0	200	25	930
61	850	180	600	100	250	12	964
63	980	0	500	150	150	23	844
65	600	1000	0	0	200	15	800
67	950	700	0	0	220	21	1034

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.2 Fluxograma do setor de fusão

Analisando os resultados presentes na seção 4.2.1.1 foi possível criar um fluxograma contendo o tempo e a potência dos fornos em cada etapa. O fluxograma é apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Fluxograma do processo de fusão do metal.



Fonte: Autoria própria (2019).

Se pode visualizar na Figura 21 os principais acontecimentos no processo completo de fusão do metal até o vazamento. As setas indicam os materiais e informações de entrada e saída no forno.

Três potências estabelecidas pelos operários no potenciômetro durante o processo estão ligeiramente acima do necessário que são elas durante a etapa de obtenção da medalha (50%), durante a análise da medalha (30%) e durante a espera para o vazamento (21%).

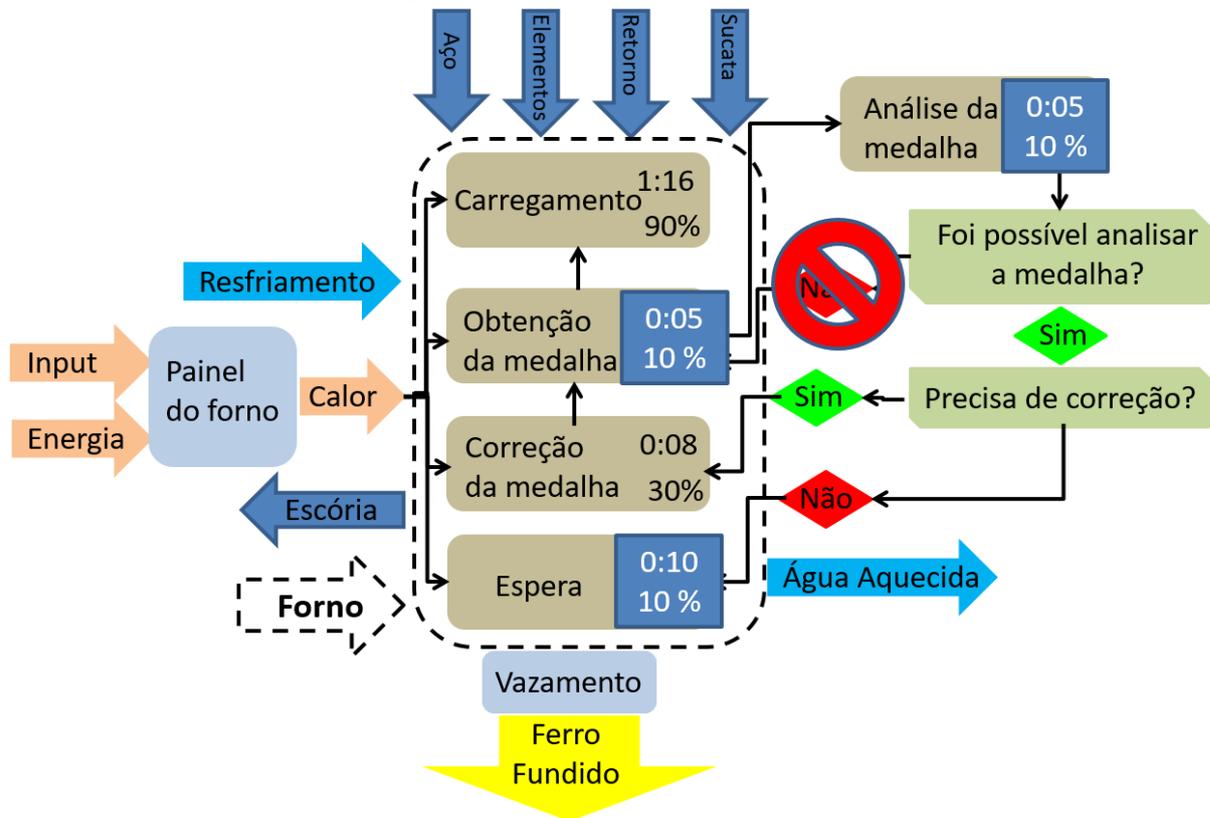
Foram feitos testes com o termômetro no forno cheio de metal líquido durante essas etapas e verificou-se que é possível manter a temperatura do metal quando o forno está ligado a apenas 10% de sua capacidade.

Além disso, a decisão no fluxograma "*Foi possível analisar a medalha?*" deverá sempre obter a resposta sim, visto que o que ocasiona a resposta não para essa questão é falha na obtenção da medalha, quando por exemplo esta é passada muitas vezes no esmeril.

Portanto, a primeira ação de eficiência energética aplicada na empresa Fersul foi uma reunião de conscientização dos operários devido os fatores apresentados nesse tópico. O fluxograma correto para estas etapas pode ser visualizado na Figura 22.

Reajustando as potências dos fornos e eliminando a etapa de reobtenção da medalha é possível atingir uma redução significativa no consumo energético dos fornos de fusão.

Figura 22 – Fluxograma atualizado do processo de fusão do metal.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.3 Linha de base dos fornos de fusão

Com as informações obtidas na seção 4.2.1.2 foi possível criar uma linha de base do forno semelhante a linha descrita na seção 4.1.2 sendo que as variáveis independentes que compõem o gráfico são os componentes utilizados para fazer o enchimento do forno, e o resultado obtido é o consumo da fornada.

As quantidades utilizadas de combustível de petróleo e grafite são muito pequenas em relação aos demais componentes, fator que excluiu essas matérias do cálculo da linha de base. A Equação (2) demonstra como o consumo energético do forno foi calculado de forma empírica.

$$CEF = 0,956 * A + 0,231 * ML + 0,691 * RJ + 0,813 * RS + 1,3715 * S - 1023,67$$

Em que CEF, A, ML, RJ, RS e S representam o consumo energético do forno (kWh), a quantidade de sucata de aço (kg), a quantidade de metal líquido (kg), a quantidade de retorno jateado (kg), a quantidade de retorno sujo (kg) e a quantidade

de sucata de ferro fundido (kg), respectivamente. A Equação (2) obteve um coeficiente de determinação de 0,995.

Analisando os valores dos coeficientes pode-se observar que os valores obtidos estão de acordo com os pontos de fusão de cada material. Por exemplo, o coeficiente do aço, que nesta empresa é comprado limpo, está ligeiramente acima do coeficiente do retorno jateado por que o ponto de fusão do aço é mais alto que o ponto de fusão do ferro fundido. O coeficiente do metal líquido é aproximadamente três vezes menor que o coeficiente do retorno jateado, pois ambos estão limpos e a única diferença entre os dois é o estado que se encontram quando são depositados no forno e conseqüentemente a sua temperatura. O coeficiente do retorno jateado é 15% menor que o coeficiente do retorno sujo, dado que faz sentido visto que o forno gasta mais energia para derreter e absorver as sujidades presentes nesse material. O coeficiente da sucata é o mais alto devido à grande quantidade de sujeira presente neste material.

A informação mais valiosa que podemos obter por meio da Equação (2) é a representatividade que sucata tem no consumo energético do forno. Uma ação de eficiência energética que poderia ser aplicada seria utilizar ferro gusa para o carregamento do forno. Com base na Equação (2) pode-se afirmar que o coeficiente desse ferro seria muito próximo do coeficiente do retorno jateado visto que ambos compartilham de composições semelhantes. Entretanto, o alto valor de mercado deste material pode inviabilizar esta medida.

Outra informação importante que é observada com base na Equação (2) é a diferença entre os coeficientes de retorno sujo e retorno jateado. Outra ação de eficiência energética que pode ser tomada é passar a utilizar apenas retorno jateado no enchimento do forno. Alguns pontos negativos nessa medida é o fato de precisar deslocar um operário para realizar a tarefa de jatear o retorno o que acarretaria no custeio desse funcionário bem como uma possível compra de outra jateadora. Vale lembrar que o retorno não é um componente desejado na empresa, visto que ele é composto por canais e massalotes e peças que não foram aprovadas pela inspeção de qualidade da empresa.

4.3 RESULTADOS DA AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A reunião com os operários que contribuem para a obtenção do ferro fundido foi realizada no final de julho, portanto, essa medida de eficiência energética passou a ser válida a partir de agosto de 2017.

Foi aplicado o consumo energético na Equação (1) para verificar a redução da tarifa de energia. A Tabela 12 e o Gráfico 4 apresentam os resultados.

Tabela 12 – Comparativo entre a linha de base e o consumo energético.

Mês	Produção bruta (Ton)	Número de trabalhadores	Dias úteis no mês	Linha de base (MWh)	Consumo Real (MWh)	Diferença (%)
jul-16	379	74	21	388	389	0.3%
ago-16	372	73	23	388	386	-0.6%
set-16	341	73	21	357	352	-1.5%
out-16	329	75	20	346	352	1.7%
nov-16	320	76	20	340	350	2.9%
dez-16	312	76	20	333	328	-1.7%
jan-17	213	83	12	235	232	-1.2%
fev-17	369	96	23	403	396	-1.8%
mar-17	456	100	23	475	480	1.1%
abr-17	415	100	18	425	425	-0.1%
mai-17	507	96	22	508	502	-1.2%
jun-17	396	96	21	417	425	1.8%
jul-17	371	85	21	390	389	-0.3%
Ação de eficiência energética						
ago-17	345	81	23	374	346	-8.0%
set-17	186	75	10	200	188	-6.3%
out-17	289	75	19	312	295	-5.8%
nov-17	279	75	18	300	271	-10.7%
dez-17	199	75	14	224	193	-16.1%
jan-18	275	76	18	298	288	-3.5%
fev-18	316	71	20	333	328	-1.6%

Fonte: Autoria própria (2019).

É fácil visualizar que a ação de eficiência energética obteve resultados satisfatórios entre os meses de agosto de 2017 e dezembro de 2017. Nesses meses o consumo energético teve uma redução de 8,2% em relação à linha de base ou 117 MWh. A tarifa energética paga pela Fersul à empresa Atmo é aproximadamente R\$ 0,32 por kWh, portanto, a redução do consumo nesse período foi de R\$ 37280,00.

Gráfico 4 – Linha de base x consumo real.

Fonte: Autoria própria (2019).

Entretanto, nos meses janeiro e fevereiro de 2018 não houve grandes reduções de consumo em relação à linha de base. O motivo foi uma reforma na linha de produção, onde coifas de absorção da fumaça oriunda dos fornos de fusão foram instaladas para melhorar a qualidade do ar interno no ambiente de trabalho. Dessa forma, o metal a ser derretido perde mais calor ao meio ambiente por meio das coifas, o que resultou em aumento no consumo energético, portanto a linha de base que utilizou os dados dos meses entre julho de 2016 e julho de 2017 não é mais válida, sendo necessário uma calibração da equação que rege o consumo energético na empresa.

4.4 COMPARATIVO DO INDICADOR DE CONSUMO ENERGÉTICO NA EMPRESA FERSUL

Utilizando como base a Tabela 12 foi possível gerar a Tabela 13 para comparar o consumo energético específico na Fersul antes e depois da implementação da ação de eficiência energética.

Tabela 13 - Indicador do consumo energético.

Mês	Produção bruta (Ton)	Consumo Real (MWh)	Consumo Energético Específico (kWh/Ton)
jul/16	379	389	1,026
ago/16	372	386	1,038
set/16	341	352	1,032
out/16	329	352	1,070
nov/16	320	350	1,094
dez/16	312	328	1,051
jan/17	213	232	1,089
fev/17	369	396	1,073
mar/17	456	480	1,053
abr/17	415	425	1,024
mai/17	507	502	990
jun/17	396	425	1,073
jul/17	371	389	1,049
Ação de eficiência energética			
ago/17	345	346	1,003
set/17	186	188	1,011
out/17	289	295	1,021
nov/17	279	271	971
dez/17	199	193	970

Fonte: Autoria própria (2019).

Deve ser ressaltado que este indicador difere do indicador apresentado na seção 4.2.1.1 que descreve o consumo específico apenas no forno, enquanto o indicador presente na Tabela 13 apresenta o consumo específico em toda a empresa.

Antes da ação de eficiência energética, a média dos indicadores era de 1051 kWh/Ton., enquanto que após a implementação da ação a relação reduziu para 1009 kWh/Ton., uma redução de aproximadamente 5%. O valor pode não ser muito expressivo, entretanto deve-se ressaltar que essa redução ocorreu devido uma ação de eficiência energética de caráter gerencial, em que foi aplicado um treinamento aos colaboradores sem nenhum custo para a empresa.

5 CONCLUSÃO

O objetivo principal do presente trabalho é aplicação de uma ação de eficiência energética. O propósito foi alcançado utilizando fontes da literatura como suporte do desenvolvimento da metodologia. O método utilizou ferramentas conhecidas no meio acadêmico e intelectual como fluxogramas para melhor visualizar o processo de fundição, além de métodos mais presentes em estudos de eficiência energética, como a linha de base do consumo energético.

O método separado em duas frentes, sendo a primeira a análise geral da empresa Fersul, onde foi levantado o consumo de todos os equipamentos dentro da indústria para posteriormente focalizar ações de eficiência energética nos grandes consumidores da planta. A segunda etapa foi estudar de forma metódica o consumo energético dos fornos, que respondem por 70% do consumo energético na empresa estudada.

Foi possível aplicar ações gerenciais no processo de fusão que acarretaram em uma economia de R\$ 37280,00 na tarifa energética, sem ter nenhum custo adicional com funcionários ou equipamentos.

Pode-se concluir que os resultados são compatíveis ao método aplicado por meio do comparativo do consumo energético real com uma linha de base calculada com dados obtidos antes da ação de eficiência energética. Todo o processo descrito na metodologia do presente estudo foi seguido para alcançar resultados satisfatórios, reduzindo o consumo energético da empresa Fersul.

O estudo também deixou explícito que algumas matérias-primas que compõe a carga de uma fornada de metal líquido consomem mais energia para serem fundidas. Portanto, é possível aplicar ações de eficiência energética envolvendo esses materiais, como utilizar retorno e sucata limpos. Outros benefícios diretamente ligados à essa ação podem ser esperados, pois a composição das ligas de retorno e ferro gusa são conhecidas, diferentemente da sucata, portanto podem necessitar menos amostras para correção da composição da carga da fornada, o que agilizará o processo de fusão. Essa análise pode ser retomada em futuros estudos.

REFERÊNCIAS

ABIFA. **Anuário ABIFA 2016**. Associação Brasileira de Fundição, 2016. Disponível em <abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista_abifa_193.pdf>. Acesso em: 26 Set. 2017.

ANDRADE, Márcio Galon de. **Eficiência Energética em Fundições: uma revisão Bibliográfica e um Estudo de Caso para uma Fundição Brasileira**. 2016. 50 f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá, Araranguá.

BACKLUND, Sandra. THOLLANDER, Patrick. PALM, Jenny. OTTOSSON, Mikael. **Extending the Efficiency Gap**. Energy policy, 2012, Vol. 51, p. 392-396.

BCS. **Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry**. United States, Columbia: U.S. Department of Energy, 2015. Disponível em <www.bcs-hq.com>. Acesso em 20 Set. 2017.

BRASIL. Carlos Nogueira da Costa Júnior. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico - 2015**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/Annu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+Metal%C3%BArgico+2015.pdf/3cd2fe18-4daa-4e51-8899-53f0cba47573>>. Acesso em 20 Set. 2017.

BRUNKE, Jean-Christian. JOHANSSON, Maria. THOLLANDER, Patrik. **Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices and energy services in the Swedish iron and steel industry**. Journal of Cleaner Production, 2014. Vol. 84, p 509-525. Disponível em <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:779995/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em 20 Set. 2017.

CASSOTI, Bruna Pretti. FILHO, Egmar Del Bel. CASTRO, Paulo Castor. **Industria de fundição: situação atual e perspectivas**. BNDES, 2010. Disponível em <<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>>. Acesso em 20 Set. 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. **Reference document on best available techniques in the smitheries and foundries industry**. Integrated Pollution Prevention and Control. Sevilha: Ec Jrc Ipts, 2005.

ELETROBRAS. **Relatório Anual ELETROBRAS 2010**. Centrais Elétricas Brasileiras, 2010. Disponível em

<http://eletrobras.com/pt/SobreaEletrobras/Relatorio_Anual_Sustentabilidade/2010/R elatorio-Anual-Eletrobras-2010.pdf>. Acesso em 26 Set. 2017.

Efficiency Valuation Organization. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance: Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água**. Volume 1. Toronto, Canadá. 2012.

International Energy Agency. **World Energy Outlook 2012 - Executive Summary - Portuguese Version**. 2012. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo-2012---executive-summary---portuguese-version.html>>. Acesso em 15 Set. 2017.

KIOSKEA. Diagrama de Gantt. **Kioskea.net**, 2011. Disponível em: <<http://pt.kioskea.net/contents/projet/gantt.php3>>. Acesso em: 07 Mar. 2011.

Ministério de Minas e Energia. **Relatório técnico 61**. 2009. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P35_RT61_Perfil_da_Fundix o.pdf/182e4c30-328b-4e8c-8df8-e7ed75ffc16d>. Acesso em 26 Set. 2017.

SCHIFO, Jd. Fs.; RADIA, Js. ts.. **Theoretical/Best Practice Energy Use In Metalcasting Operations**. Washington, Dc: U.s. Department Of Energy, 2004. 114 p.

SHULZE, Mike. et al. **Energy management in industry - a systematic review of previous findings and integrative conceptual framework**. Journal of Cleaner Production, 2015.

SIMÕES, André Felipe; BAJAY, Sérgio Valdir. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: Relatório setorial: Fundação**. Brasília: Cni - Confederação Nacional da Indústria, 2010.

SOARES, Gloria de Almeida. **Fundição: Mercado, Processo e Metalúrgica**. 2015. Disponível em <<http://www.metalmat.ufrj.br/wp-content/uploads/2012/05/Fundi%C3%A7%C3%A3o-mercado-processos-e-metalurgia.pdf>>. Acesso em 26 Set. 2017.

SOUZA, Hamilton Moss de. et al. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2011. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético.

APÊNDICE A – EQUIPAMENTOS DOS DEMAIS SETORES DA FERSUL

Tabela 14 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem de areia verde.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Talha	3	1,50	80%	0,5	36,00
Motor mover areia	2	0,37	80%	3,0	35,33
Motor Bomba Hid.	4	0,37	80%	2,0	47,10
Lâmpadas	4	0,04	80%	16,0	40,96

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 15 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem cura a frio.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Ponte Rolante/Talhas	2	1,50	80%	1,0	48,00
	3	0,12	80%	1,0	5,90
	2	0,74	80%	1,0	23,55
Misturador Cura a Frio	1	5,52	80%	4,0	353,28
VICK MG 60L	3	1,10	80%	5,0	264,96
	1	3,68	80%	5,0	294,40
Lâmpadas	9	0,04	80%	16,0	92,16

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 16 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem cold box.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Lâmpadas	10	0,11	80%	16,0	281,60
Lâmpadas	2	0,04	80%	16,0	20,48
Modelador VICK	1	14,71	80%	16,0	3765,25
Modelador Menor	1	11,03	80%	4,0	705,98
Exaustor	1	1,47	80%	8,0	188,42
Motor	4	0,18	80%	16,0	188,42
Motor	2	2,21	80%	8,0	565,25

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 17 – Dados obtidos nos equipamentos na modelagem.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Furadeira de bancada	1	0,37	80%	1,5	8,82
Mesa de serra	1	0,37	80%	0,5	2,94
Plaina	1	0,37	80%	0,5	2,94
Lixador	1	3,68	80%	3,0	176,64
Furadeira portátil	1	0,33	80%	24,0	126,72
Rádio	1	0,02	80%	16,0	3,84
Lâmpadas	10	0,11	80%	16,0	281,60
Lâmpadas	4	0,06	80%	16,0	61,44
Câmera de segurança	1	0,02	80%	24,0	5,76
Ponte Rolante	1	7,36	80%	0,2	18,84

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 18 – Dados obtidos nos equipamentos dos escritórios.

Setor	Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Piso 1	Aquecedor	1	2,00	80%	1,0	32,00
	Lâmpadas	9	0,04	80%	6,0	34,56
	Relógio Ponto	2	0,02	80%	12,0	7,68
	Lâmpadas	4	0,11	80%	12,0	84,48
	Chuveiro	6	5,00	80%		
Piso 2	Lâmpadas	2	0,04	80%	4,0	5,12
	Geladeira	1	0,25	80%	24,0	96,00
	Lâmpadas	3	0,02	80%	2,0	1,92
Escritório	Lâmpadas	10	0,04	80%	8,0	51,20
	Computador	4	0,30	80%	5,0	96,00
	Monitor	4	0,08	80%	5,0	24,00
	Telefone	4	0,03	80%	24,0	46,08
	Impressora	1	0,05	80%	8,0	5,76
	Climatizador	1	1,40	80%	5,0	112,00
Sala de reuniões	Climatizador	1	1,40	80%	1,0	22,40
	Lâmpadas	2	0,04	80%	1,0	1,28
Almoxarifado	Lâmpadas	8	0,04	80%	8,0	40,96
	Climatizador	1	1,40	80%	5,0	112,00
	Computador	1	0,30	80%	5,0	24,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 19 – Dados obtidos nos equipamentos da desmoldagem.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Vibrador	1	18,40	80%	4,0	1177,60
Exaustor	1	18,40	80%	8,0	2355,20

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 20 – Dados obtidos nos equipamentos do laboratório.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Câmera	1	0,02	80%	24,0	7,68
Peneira	1	0,37	80%	0,0	0,15
Politriz	1	0,18	80%	0,6	1,77
Computador	1	0,25	80%	3,0	12,00
Secador	1	0,70	80%	0,0	0,00
Climatizador	1	4,00	80%	14,0	896,00
Desumidificador	1	4,00	80%	10,0	640,00
Notebook	1	0,25	80%	2,8	11,20
Computador	1	0,25	80%	24,0	96,00
No Break / Espect.	1	0,40	80%	24,0	153,60
Computador	1	0,25	80%	24,0	96,00
Lâmpadas	2	0,11	80%	16,0	56,32
Lâmpadas	6	0,08	80%	16,0	122,88
Microssópio	1	0,10	80%	0,2	0,32

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 21 – Dados obtidos nos equipamentos do acabamento.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Forno	1	9,00	80%	0,0	0,00
Lâmpadas	13	0,10	80%	16,0	332,80
Ventilador	3	1,10	80%	10,0	529,92
Ponte Rolante	1	0,74	80%	0,8	9,42
	1	0,74	80%	0,8	9,42
	2	1,47	80%	0,8	37,68
Rebolo	1	3,68	80%	8,0	471,04
Lixadeira de Beiral	3	3,68	80%	8,0	1413,12
Lixadeiras de Chapa	3	14,72	80%	8,0	5652,48
	3	1,47	80%	8,0	565,25
	3	2,21	80%	8,0	847,87
Politriz de chapa	2	9,20	80%	8,0	2355,20
	2	1,47	80%	8,0	376,83
	2	2,21	80%	8,0	565,25
Durômetro	1	0,74	80%	0,4	4,71
Forno Tratamento	1	50,00	80%	2,0	1600,00
Lixadeira de Beiral	1	7,36	80%	8,0	942,08
	1	7,36	80%	8,0	942,08
	1	1,10	80%	8,0	141,31
	1	1,47	80%	8,0	188,42

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 22 – Dados obtidos nos equipamentos da casa de máquinas.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Compressor	1	55,00	90%	10,0	9900,00
Compressor	1	36,80	80%	10,0	5888,00
Compressor	1	22,08	80%	10,0	3532,80
Compressor	1	1,40	80%	10,0	224,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 23 – Dados obtidos nos equipamentos da manutenção.

Setor	Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Escritório	Climatizador	1	4,00	80%	8,0	512,00
	Computador	1	0,25	80%	8,0	32,00
	Lâmpadas	2	0,04	80%	8,0	9,22
	Balança	1	****	80%	0,0	-
	Monitor	1	0,25	80%	8,0	32,00
Manutenção	Lixadeira	3	2,70	80%	0,0	0,13
	Lâmpadas	6	0,11	80%	5,0	52,80
	Furadeira Bancada	1	1,25	80%	0,0	0,00
	Esmeril	1	1,10	80%	0,0	0,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 24 – Dados obtidos nos equipamentos do preparo da areia verde.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Misturador Areia Ver.	1	25,76	80%	12,0	4945,92
Alimentador	1	18,40	80%	12,0	3532,80
Esteira	1	1,47	80%	12,0	282,62
	1	1,10	80%	12,0	211,97
Elevador Caneca	1	3,68	80%	12,0	706,56

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 25 – Dados obtidos nos equipamentos das torres de resfriamento.

Equipamento	Qtd.	Potência (kW)	Rendimento	Uso diário (h)	kWh/mês
Torre da Direita	1	1,10	80%	8,0	141,31
Bomba	1	1,47	80%	8,0	188,42
Torre Esquerda	2	5,52	80%	8,0	1413,12
	6	2,21	80%	8,0	1695,74
	6	7,36	80%	8,0	5652,48
	1	29,44	80%	8,0	3768,32

Fonte: Autoria própria (2019).

APÊNDICE B – CONSUMO EM FORNADAS NO MÊS DE JULHO DE 2017

Tabela 26 – Dados coletados no dia 14/07/2018 no forno 4.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:06:00	0	-	0,00
Carregamento	00:04:00	454	-	30,27
Carbono	-	454	-	-
Carregamento	00:08:00	410	-	54,67
Carregamento	00:03:00	365	-	18,25
Carregamento	00:04:00	335	-	22,33
Carregamento	00:01:00	322	-	5,37
Carregamento	00:05:00	340	-	28,33
Carregamento	00:06:00	770	-	77,00
Carregamento	00:03:00	834	-	41,70
Carregamento	00:45:00	867	-	650,25
Medalha	00:05:00	440	-	36,67
Queima medalha	00:13:00	395	-	85,58
Queima medalha	00:02:00	199	-	6,63
Correção	00:02:00	199	-	6,63
Correção	00:02:00	400	-	13,33
Correção	00:03:00	860	-	43,00
Medalha	00:02:00	860	-	28,67
Medalha	00:04:00	190	-	12,67
Queima medalha	00:02:00	190	-	6,33
Queima medalha	00:06:00	338	-	33,80
Correção	00:03:00	394	1486	19,70
Aquecimento	00:03:00	495	1504	24,75
Vazamento	00:01:03	-	-	-
Total	02:13:03			1245,93

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 27 – Resumo dos dados da tabela 27.

Processo	Tempo (h)	P (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:28:00	649,7	952,9	76,5%
Correção medalha	00:44:00	399,6	293,0	23,5%
Total	02:12:00	566,3	1245,9	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 28 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:02:00	0	-	0,0
Carregamento	00:46:00	998	-	765,1
Carregamento	00:25:00	999	-	416,3
Carbono	-	-	-	-
Carregamento	00:08:00	746	-	99,5
Carregamento	00:18:00	998	-	299,4
Medalha	00:03:00	998	-	49,9
Medalha	00:01:00	0	1474	0,0
Queima	00:04:00	0	-	0,0
Correção	00:05:00	0	-	0,0
Correção	00:02:00	569	-	19,0
Correção	00:02:00	999	-	33,3
Medalha	00:03:00	999	-	49,9
Queima	00:04:00	149	1481	9,9
Correção	00:05:00	149	-	12,4
Correção	00:03:00	579	-	28,9
Vazamento	-	-	1386	-
Total	02:11:00		-	1367,4

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 29 – Resumo dos dados da tabela 29.

Processo	Tempo (h)	P (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:14:00	943,8	1164,0	85,1%
Correção medalha	00:32:00	381,4	203,4	14,9%
Total	02:11:00	626,3	1367,4	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 30 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 2.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Enchimento	00:02:00	3		0,1
Enchimento	00:04:00	4		0,3
Enchimento	00:05:00	34		2,8
Enchimento	00:03:00	48		2,4
Enchimento	00:04:00	241		16,1
Enchimento	00:03:00	267		13,4
Enchimento	00:03:00	369		18,4
Carregamento	01:06:00	365		401,5
Carbono	-	365		-
Aquecimento ferro	00:03:00	375	1421	18,7
Medalha	00:02:00	375	1436	12,5
Queima medalha	00:05:00	375		31,2
Correção	00:10:00	378		63,0
Medalha	00:02:00	376		12,5
Queima medalha	00:02:00	376		12,5
Queima medalha	00:02:00	130	1463	4,3
Espera Panela	00:08:00	0	1398	0,0
Vazamento	00:01:20	0		0,0
Total	02:05:20			609,9

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 31 – Resumo dos dados da tabela 31.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:33:00	305,6	473,7	77,7%
Correção medalha	00:23:00	355,2	136,2	22,3%
Total	02:05:20	292,0	609,9	100%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 32 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:07:00	280		32,7
Carregamento	00:01:00	830	-	13,8
Carregamento	00:11:00	990	-	181,5
Carvão	-	-	-	-
Carregamento	00:45:00	999	-	749,3
Medalha	00:04:00	998	-	66,5
Queima medalha	00:07:00	0	-	0,0
Correção medalha	00:01:00	0	-	0,0
Correção medalha	00:02:00	998	-	33,3
Medalha	00:02:00	998	-	33,3
Queima medalha	00:07:00	998	-	116,4
Carregamento	00:02:00	998	1430	33,3
Espera panela	00:02:00	998	1445	33,3
Vazamento	-	-	-	0,0
Total	01:31:00	-	-	1293,3

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 33 – Resumo dos dados da tabela 33.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:04:00	947,4	1010,5	78,1%
Correção medalha	00:27:00	650,8	249,5	19,3%
Total	01:31:00	830,7	1260,0	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 34 – Dados coletados no dia 17/07/2018 no forno 2.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:09:00	310	-	46,5
Carregamento	00:56:00	375	-	350,0
Medalha	00:03:00	377	-	18,8
Queima medalha	00:11:00	185	-	33,9
Correção	00:02:00	85	-	2,8
Correção	00:04:00	377	-	25,1
Espera	00:04:00	377	1462	25,1
Espera	00:05:00	202	1470	16,8
Espera	00:11:00	195	1500	35,7
Vazamento	-	-	1500	0,0
Total	01:45:00			554,9

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 35 – Resumo dos dados da tabela 35.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:05:00	366,0	396,5	71,4%
Correção medalha	00:40:00	237,7	158,4	28,6%
Total	01:45:00	317,1	554,9	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 36 – Dados coletados no dia 18/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:09:00	677	-	101,5
Carregamento	00:23:00	999	-	383,0
Carbono	-	-	-	0,0
Carregamento	00:04:00	970	-	64,7
Carregamento	00:22:00	995	-	364,8
Carregamento	00:07:00	0	-	0,0
Carregamento	00:03:00	527	-	26,3
Carregamento	00:16:00	995	-	265,3
Carregamento	00:05:00	305	1496	25,4
Carregamento	00:11:00	995	-	182,4
Carregamento	00:09:00	0	-	0,0
Carregamento	00:04:00	114	-	7,6
Aquecimento	00:04:00	934	1412	62,3
Medalha	00:02:00	934	-	31,1
Medalha	00:03:00	325	-	16,3
Queima medalha	00:03:00	318	-	15,9
Queima medalha	00:09:00	318	1483	47,7
Medalha	00:05:00	318	-	26,5
Queima medalha	00:03:00	-	1524	0,0
Queima medalha	00:02:00	186	-	6,2
Queima medalha	00:03:00	0	1507	0,0
Correção	00:09:00	0	-	0,0
Correção	00:11:00	595	1454	109,1
Medalha	00:01:00	595	1472	9,9
Medalha	00:03:00	159	-	7,9
Queima medalha	00:03:00	159	-	8,0
Medalha	00:07:00	159	-	18,5
Queima medalha	00:07:00	159	1512	18,6
Correção	00:04:00	159	-	10,6
Correção	00:02:00	0	-	0,0
Correção	00:04:00	608	-	40,5
Vazamento	-	157	-	-
Total	03:18:00	-	-	1850,2

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 37 – Resumo dos dados da tabela 37.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:57:00	760,7	1483,4	80,2%
Correção medalha	01:21:00	271,7	366,8	19,8%
Total	03:18:00	560,7	1850,2	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 38 – Dados coletados no dia 19/07/2018 no forno 2.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:02:00	7	-	0,2
Carregamento	00:55:00	195	-	178,8
Carregamento	00:20:00	209	-	69,7
Carregamento	00:15:00	370	-	92,5
Carregamento	00:28:00	226	-	105,5
Medalha	00:05:00	226	-	18,8
Queima	00:09:00	0	-	0,0
Medalha	00:05:00	0	-	0,0
Queima	00:05:00	84	-	7,0
Queima	00:05:00	84	-	7,0
Correção	00:04:00	84	-	5,6
Correção	00:09:00	263	-	39,5
Correção	00:05:00	374	-	31,2
Total	02:47:00	-	-	555,7

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 39 – Resumo dos dados da tabela 39.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	02:00:00	223,30833	446,6	80,4%
Correção medalha	00:47:00	139,21277	109,1	19,6%
Total	02:47:00		555,7	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 40 – Dados coletados no dia 19/07/2018 no forno 4.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:01:00	46	-	0,8
Carregamento	00:01:00	100	-	1,7
Carregamento	00:03:00	810	-	40,5
Carregamento	00:07:00	520	-	60,7
Carregamento	00:03:00	360	-	18,0
Carregamento	00:02:00	830	-	27,7
Carregamento	00:03:00	790	-	39,5
Carregamento	00:12:00	860	-	172,0
Carregamento	00:04:00	875	-	58,3
Carregamento	00:18:00	503	-	150,9
Carregamento	00:13:00	515	-	111,6
Carregamento	00:12:00	880	-	176,0
Carregamento	00:04:00	865	-	57,7
Carregamento	00:02:00	445	-	14,8
Carregamento	00:02:00	355	-	11,8
Medalha	00:02:00	355	-	11,8
Queima	00:01:00	355	-	5,9
Queima	00:05:00	245	-	20,4
Queima	00:01:00	112	-	1,9
Correção	00:02:00	450	-	15,0
Correção	00:01:00	485	-	8,1
Carregamento	00:03:00	510	-	25,5
Carregamento	00:03:00	875	-	43,7
Correção	00:05:00	875	-	72,9
Correção	00:07:00	559	-	65,2
Correção	00:14:00	110	-	25,7
Vazamento	-	-	-	-
Total	02:11:00	-	-	1238,1

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 41 – Resumo dos dados da tabela 41.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:33:00	652,37	1011,2	81,7%
Correção medalha	00:38:00	358,29	226,9	18,3%
Total	02:11:00	567,06	1238,1	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 42 – Dados coletados no dia 24/07/2018 no forno 5.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:05:00	550	-	45,8
Carregamento	00:05:00	990	-	82,5
Carregamento	00:05:00	640	-	53,3
Carregamento	00:18:00	730	-	219,0
Carregamento	00:46:00	995	-	762,8
Medalha	00:02:00	80	-	2,7
Queima	00:17:00	65	-	18,4
Correção	00:16:00	65	-	17,3
Correção	00:08:00	740	-	98,7
Correção	00:16:00	95	-	25,3
Correção	00:05:00	500	-	41,7
Total	02:23:00	-	-	1367,6

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 43 – Resumo dos dados da tabela 43.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:19:00	883,67089	1163,5	85,1%
Correção medalha	01:04:00	191,32813	204,1	14,9%
Total	02:23:00	19:28:07	1367,6	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 44 – Dados coletados no dia 24/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:51:00	0	-	0,0
Carregamento	00:35:00	856	-	499,3
Carregamento	00:08:00	150	-	20,0
Carregamento	00:16:00	815	-	217,3
Carregamento	00:02:00	537	-	17,9
Carregamento	00:05:00	370	-	30,8
Carregamento	00:06:00	0	-	0,0
Carregamento	00:07:00	1000	-	116,7
Carregamento	00:17:00	837	-	237,2
Medalha	00:05:00	146	1417	12,2
Medalha	00:01:00	0	-	0,0
Queima	00:05:00	0	-	0,0
Correção	00:03:00	0	-	0,0
Correção	00:10:00	88	-	14,7
Correção	00:07:00	995	1482	116,1
Correção	00:10:00	0	1447	0,0
Correção	00:05:00	0	-	0,0
Correção	00:03:00	839	-	41,9
Medalha	00:04:00	116	-	7,7
Queima	00:02:00	116	-	3,9
Queima	00:04:00	162	-	10,8
Medalha	00:04:00	162	1436	10,8
Medalha	00:01:00	104	-	1,7
Queima	00:03:00	104	-	5,2
Correção	00:08:00	104	-	13,9
Correção	00:05:00	746	-	62,2
Correção	00:01:00	0	-	0,0
Vazamento	-	-	-	-
Total	03:48:00	-	-	1440,3

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 45 – Resumo dos dados da tabela 45.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	02:27:00	465,0	1139,2	79,1%
Correção medalha	01:21:00	223,0	301,0	20,9%
Total	03:48:00	379,0	1440,3	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 46 – Dados coletados no dia 25/07/2018 no forno 2.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:02:00	10	-	0,3
Carregamento	00:14:00	379	-	88,4
Carregamento	00:47:00	381	-	298,5
Medalha	00:03:00	190	-	9,5
Queima	00:02:00	37	-	1,2
Queima	00:02:00	85	-	2,8
Correção	00:03:00	84	-	4,2
Correção	00:09:00	362	-	54,3
Vazamento	-	-	-	-
Total	01:22:00	-	-	459,3

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 47 – Resumo dos dados da tabela 47.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:03:00	368,8	387,2	84,3%
Correção medalha	00:19:00	227,6	72,1	15,7%
Total	01:22:00	336,1	459,3	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 48 – Dados coletados no dia 25/07/2018 no forno 5.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:03:00	950	-	47,5
Carregamento	00:01:00	860	-	14,3
Carregamento	00:01:00	740	-	12,3
Carregamento	00:01:00	650	-	10,8
Carregamento	00:02:00	600	-	20,0
Carregamento	00:01:00	670	-	11,2
Carregamento	00:02:00	820	-	27,3
Carregamento	00:02:00	820	-	27,3
Carregamento	00:05:00	1003	-	83,6
Carregamento	00:34:00	1006	-	570,1
Carregamento	00:08:00	1003	-	133,7
Carregamento	00:05:00	812	-	67,7
Carregamento	00:02:00	1002	-	33,4
Carregamento	00:04:00	147	-	9,8
Carregamento	00:02:00	1005	1424	33,5
Medalha	00:01:00	1005	-	16,8
Medalha	00:02:00	142	1447	4,7
Medalha	00:01:00	141	-	2,3
Queima	00:06:00	141	1460	14,1
Correção	00:05:00	141	-	11,8
Correção	00:02:00	520	1470	17,3
Vazamento	-	-	-	-
Total	01:30:00	-	-	1169,6

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 49 – Resumo dos dados da tabela 49.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:13:00	906,2	1102,6	94,3%
Correção medalha	00:17:00	236,5	67,0	5,7%
Total	01:30:00	779,7	1169,6	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 50 – Dados coletados no dia 25/07/2018 no forno 5.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:07:00	1008	-	117,6
Carregamento	00:05:00	660	-	55,0
Carregamento	00:03:00	700	-	35,0
Carregamento	00:11:00	1001	-	183,5
Carregamento	00:05:00	920	-	76,7
Carregamento	00:18:00	1002	-	300,6
Carregamento	00:13:00	850	-	184,2
Carregamento	00:08:00	0	-	0,0
Carregamento	00:02:00	950	-	31,7
Carregamento	00:17:00	1003	-	284,2
Carregamento	00:01:00	0	-	0,0
Carregamento	00:05:00	1002	-	83,5
Carregamento	00:04:00	714	-	47,6
Carregamento	00:02:00	0	-	0,0
Medalha	00:04:00	3	-	0,2
Queima	00:14:00	3	1420	0,7
Queima	00:07:00	115	-	13,4
Correção	00:03:00	186	-	9,3
Correção	00:04:00	378	-	25,2
Correção	00:01:00	3	-	0,0
Correção	00:01:00	531	-	8,9
Correção	00:01:00	3	-	0,0
Correção	00:03:00	500	-	25,0
Correção	00:02:00	1002	-	33,4
Correção	00:03:00	3	-	0,1
Correção	00:02:00	1005	-	33,5
Correção	00:02:00	227	-	7,6
Correção	00:02:00	1004	-	33,5
Medalha	00:05:00	3	-	0,2
Queima	00:05:00	110	-	9,2
Medalha	00:02:00	110	-	3,7
Queima	00:04:00	110	-	7,3
Correção	00:07:00	110	-	12,8
Correção	00:01:00	1002	-	16,7
Correção	00:02:00	300	-	10,0
Vazamento	-	-	-	-
Total	02:56:00	-	-	1650,3

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 51 – Resumo dos dados da tabela 41.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:41:00	831,4	1399,5	84,8%
Correção medalha	01:15:00	200,6	250,8	15,2%
Total	02:56:00	562,6	1650,3	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 52 – Dados coletados no dia 26/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:05:00	1002	-	83,5
Carregamento	00:02:00	850	-	28,3
Carregamento	00:01:00	700	-	11,7
Carregamento	00:03:00	650	-	32,5
Carregamento	00:01:00	770	-	12,8
Carregamento	00:01:00	990	-	16,5
Carregamento	00:17:00	1003	-	284,2
Carregamento	00:05:00	985	-	82,1
Carregamento	00:05:00	1003	-	83,6
Carregamento	00:08:00	990	-	132,0
Carregamento	00:05:00	990	-	82,5
Medalha	00:02:00	990	-	33,0
Queima	00:05:00	990	-	82,5
Queima	00:02:00	270	-	9,0
Correção	00:02:00	270	-	9,0
Correção	00:01:00	2	-	0,0
Correção	00:05:00	970	-	80,8
Correção	00:03:00	970	1447	48,5
Vazamento	-	-	-	-
Total	01:13:00	-	-	1112,6

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 53 – Resumo dos dados da tabela 53.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	00:53:00	961,906	849,7	76,4%
Correção medalha	00:20:00	788,6	262,9	23,6%
Total	01:13:00	914,42	1112,6	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 54 – Dados coletados no dia 31/07/2018 no forno 6.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Temperatura (°C)	Energia consumida (kWh)
Carregamento	00:02:00	850	-	28,3
Carregamento	00:01:00	660	-	11,0
Carregamento	00:01:00	590	-	9,8
Carregamento	00:10:00	0	-	0,0
Carregamento	00:04:00	560	-	37,3
Carregamento	00:01:00	690	-	11,5
Carregamento	00:02:00	720	-	24,0
Carregamento	00:01:00	100	-	1,7
Carregamento	00:03:00	75	-	3,7
Carregamento	00:10:00	850	-	141,7
Carregamento	00:43:00	1002	-	718,1
Carregamento	00:02:00	0	-	0,0
Carregamento	00:02:00	1002	-	33,4
Medalha	00:02:00	1002	-	33,4
Medalha	00:01:00	175	-	2,9
Queima	00:05:00	175	-	14,6
Queima	00:03:00	120	-	6,0
Medalha	00:03:00	120	-	6,0
Queima	00:04:00	120	-	8,0
Correção	00:05:00	120	-	10,0
Vazamento	-	-	-	-
Total	01:45:00	-	-	1101,5

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 55 – Resumo dos dados da tabela 55.

Processo	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia consumida (kWh)	Porcentagem
Carregamento	01:22:00	746,8	1020,6	93,5%
Correção medalha	00:23:00	236,3	70,9	6,5%
Total	01:45:00	623,7	1091,5	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019).

APÊNDICE C – CONSUMO EM FORNADAS NO MÊS DE AGOSTO DE 2017

Tabela 56 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 03 de agosto com início às 7:50.

Informações	
Ferro Fundido	G1800/G2500
Sucata	800 kg
Retorno	900 kg
Retorno Jateado	150 kg
Retorno Líquido	0 kg
Aço	200 kg
Grafite	12 kg
Carbono petróleo	13 kg
Carburante	0 kg

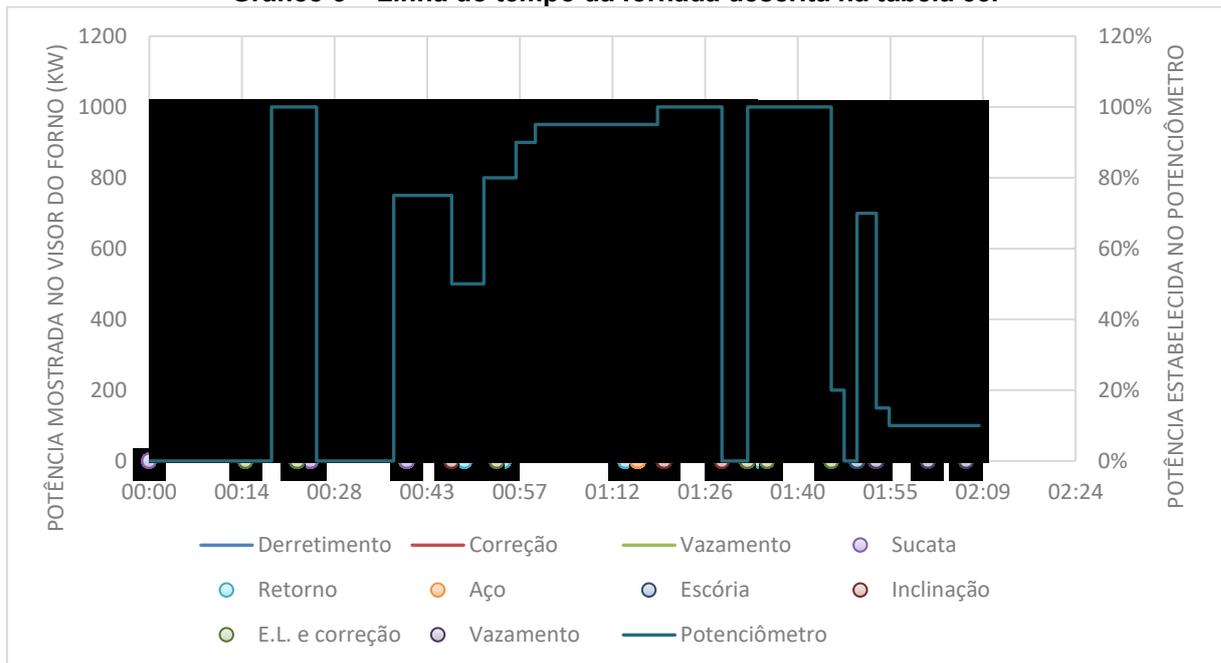
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 57 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 57.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Média	7:50
Sucata	Placa	7:50
Sucata	Calota cheia	8:15
Sucata	Calota cheia	8:30
Retorno	Retorno pequeno	8:39
Retorno	Retorno galão	8:45
Retorno	Retorno metal líquido 100 kg	9:04
Retorno	Retorno chapa	9:25
Retorno	Retorno metal líquido 50 kg	9:50
Aço	Aço laminado	9:06
Escória	Escória	9:19
Escória	Escória	9:40
Inclinação	Inclinação	8:37
Inclinação	Inclinação	9:10
Inclinação	Inclinação	9:19
E. L. e correção	Carbono petróleo	8:05
E. L. e correção	Carbono grafite	8:13
E. L. e correção	Carbono petróleo	8:44
E. L. e correção	Medalha	9:23
E. L. e correção	Queima	9:26
E. L. e correção	Correção carbono	9:36
Vazamento	1º Vazamento	9:43
Vazamento	2º Vazamento	9:51

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 5 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 55.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 58 – Dados do enchimento do forno 5 no dia 03 de agosto com início às 8:55.

Informações	
Ferro Fundido	G3500/4000
Sucata	1000 kg
Retorno	500 kg
Retorno Jateado	170 kg
Retorno Líquido	0 kg
Aço	200 kg
Grafite	13 kg
Carbono petróleo	0 kg
Carburante	7 kg

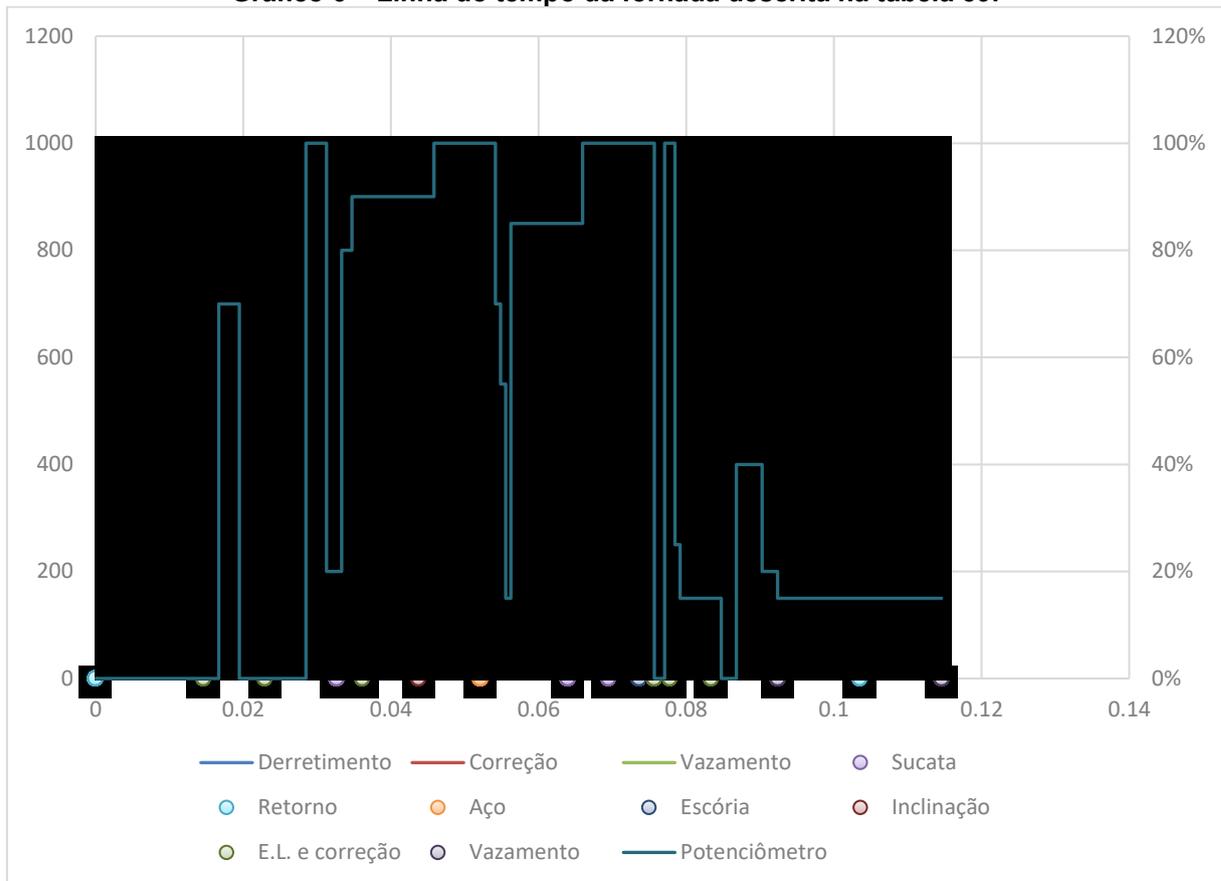
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 59 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 59.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Sucata pequena	8:55
Sucata	Sucata média	9:42
Sucata	Sucata média muito suja	10:10
Sucata	Galão	10:27
Sucata	Galão	10:35
Retorno	Galão	8:55
Retorno	Metal líquido (100 kg)	10:42
Retorno	Metal líquido (70 kg)	11:24
Aço	Aço laminado	10:10
Escória	Escória	10:41
Escória	Muita escória	10:47
Escória	Escória	11:04
Inclinação	Inclinação	9:58
E. L. e correção	Elementos de liga	9:16
E. L. e correção	Grafite	9:28
E. L. e correção	Grafite	9:47
E. L. e correção	Carburante	10:00
E. L. e correção	Medalha	10:44
E. L. e correção	Queima	10:47
E. L. e correção	Correção	10:55
Vazamento	1º Vazamento	11:08
Vazamento	2º Vazamento	11:40

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 6 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 59.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 60 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 03 de agosto com início às 15:30.

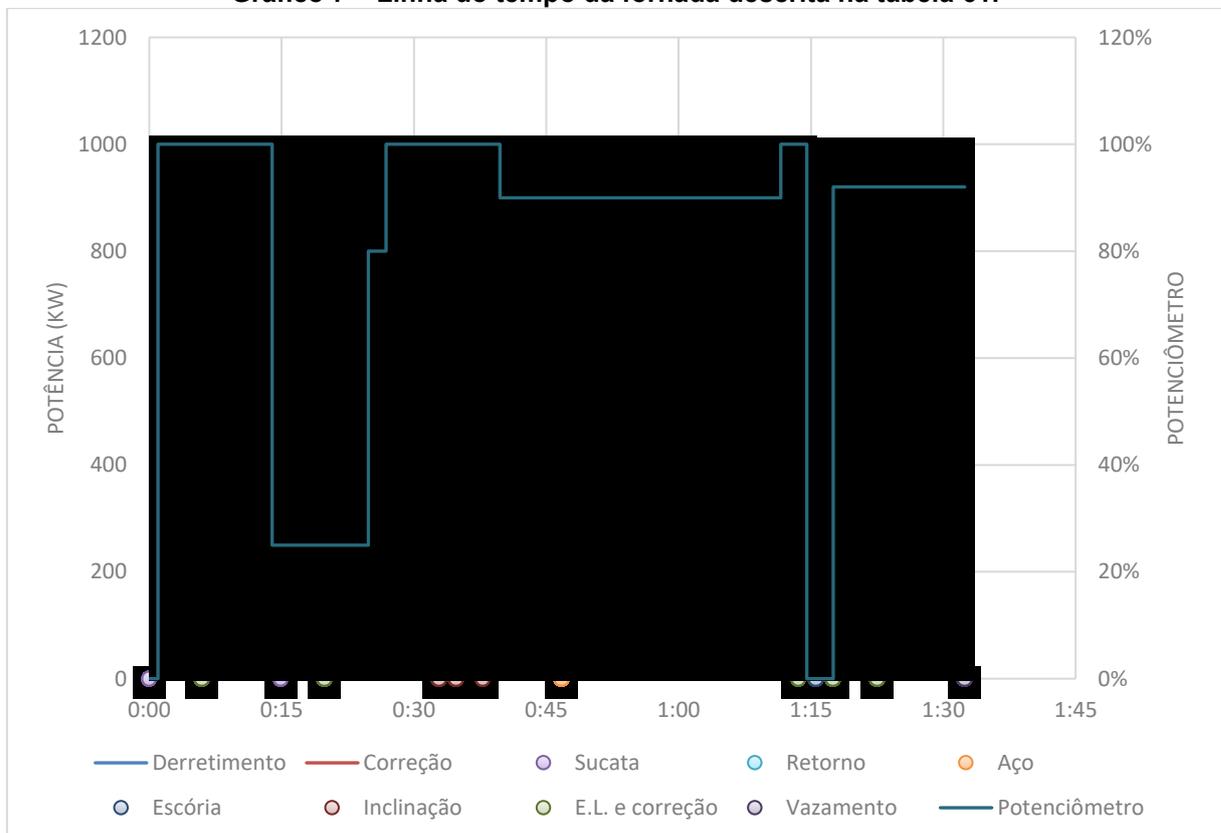
Informações	
Ferro Fundido	G1800
Sucata	750 kg
Retorno	900 kg
Retorno Jateado	0 kg
Retorno Líquido	0 kg
Aço	200 kg
Grafite	5 kg
Carbônio petróleo	10 kg
Carburante	10 kg

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 61 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 61.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Sucata média	15:10
Sucata	Sucata pequena	15:25
Sucata	Sucata média	15:37
Retorno	Chapa	15:57
Retorno	Chapa	16:28
Aço	Chapa	15:57
Escória	Escória	16:26
Inclinação	Desengaiolar	15:43
Inclinação	Desengaiolar	15:45
Inclinação	Inclinação	15:48
E. L. e correção	Grafite	15:16
E. L. e correção	Carburante de petróleo	15:16
E. L. e correção	Carburante	15:30
E. L. e correção	Medalha	16:24
E. L. e correção	Queima	16:28
E. L. e correção	Correção	16:33
Vazamento	1º Vazamento	16:43

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 7 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 61.

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 62 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 04 de agosto com início às 09:40.

Informações	
Ferro Fundido	G350/4000
Sucata	900 kg
Retorno	180 kg
Retorno Jateado	600 kg
Retorno Líquido	100 kg
Aço	250 kg
Grafite	6 kg
Carbono petróleo	0 kg
Carburante	6 kg

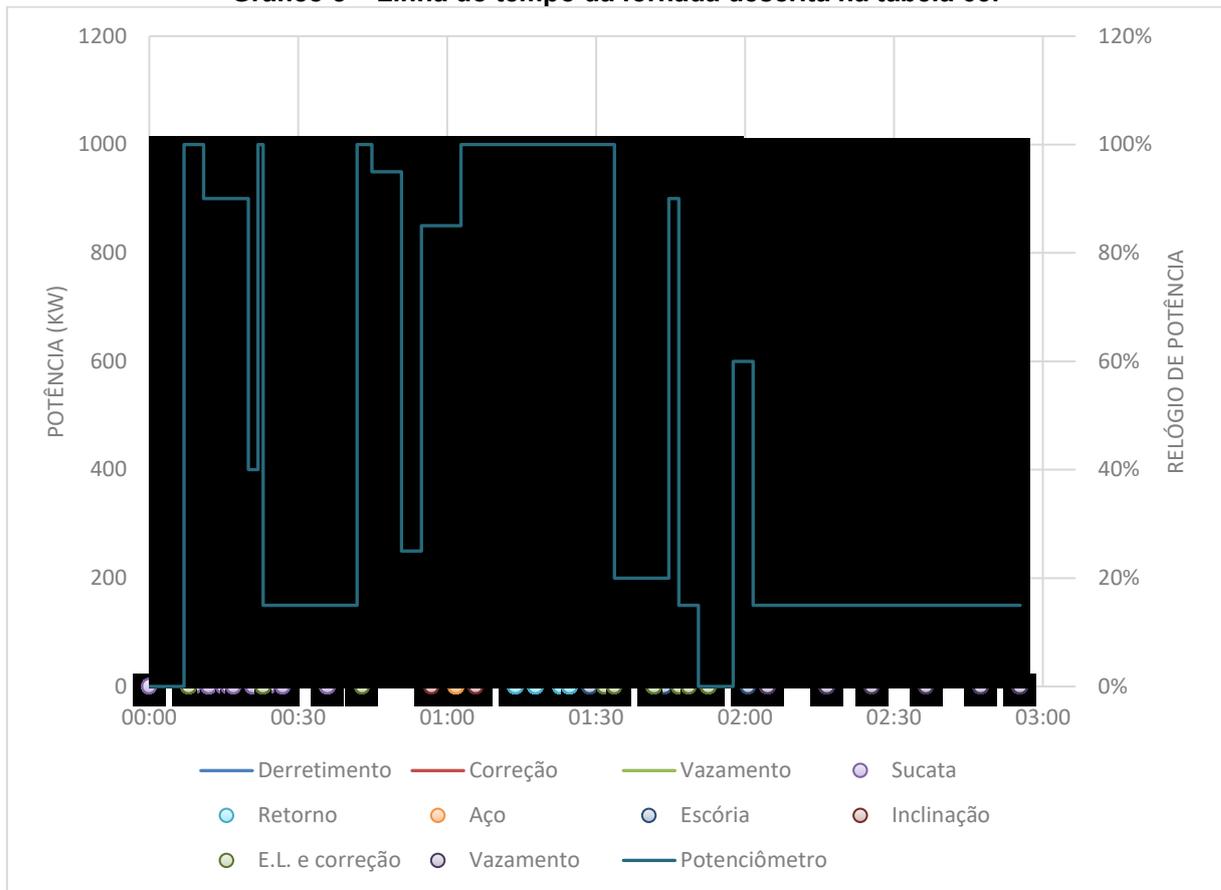
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 63 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 63.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Bloco Motor + calota	9:40
Sucata	Calota	9:49
Sucata	2 calota	9:52
Sucata	Calota	9:55
Sucata	Sucata pequena	9:56
Sucata	Calota	9:57
Sucata	2 calota	10:01
Sucata	Sucata média	10:04
Sucata	2 calota	10:07
Sucata	Calota	10:16
Retorno	Polia grande	10:54
Retorno	Retorno líquido (100 kg)	10:58
Retorno	2 polia grande	11:03
Retorno	Retorno pequeno (não jateado)	11:05
Aço	Aço	10:42
Escória	Escória	11:09
Escória	Escória	11:24
Escória	Escória	11:41
Inclinação	Inclinação	10:37
Inclinação	Inclinação	10:46
Inclinação	Arrumar	10:50
E. L. e correção	Elementos de liga	9:48
E. L. e correção	Carburante de petróleo	10:03
E. L. e correção	Carburante	10:23
E. L. e correção	Medalha	11:12
E. L. e correção	Queima	11:14
E. L. e correção	Correção	11:22
E. L. e correção	Medalha	11:27
E. L. e correção	Queima	11:29
E. L. e correção	Correção	11:33
Vazamento	1º Vazamento	11:45
Vazamento	2º Vazamento	11:57
Vazamento	3º Vazamento	12:06
Vazamento	4º Vazamento	12:17
Vazamento	5º Vazamento	12:28
Vazamento	6º Vazamento	12:36

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 8 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 63.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 64 – Dados do enchimento do forno 5 no dia 04 de agosto com início às 10:51.

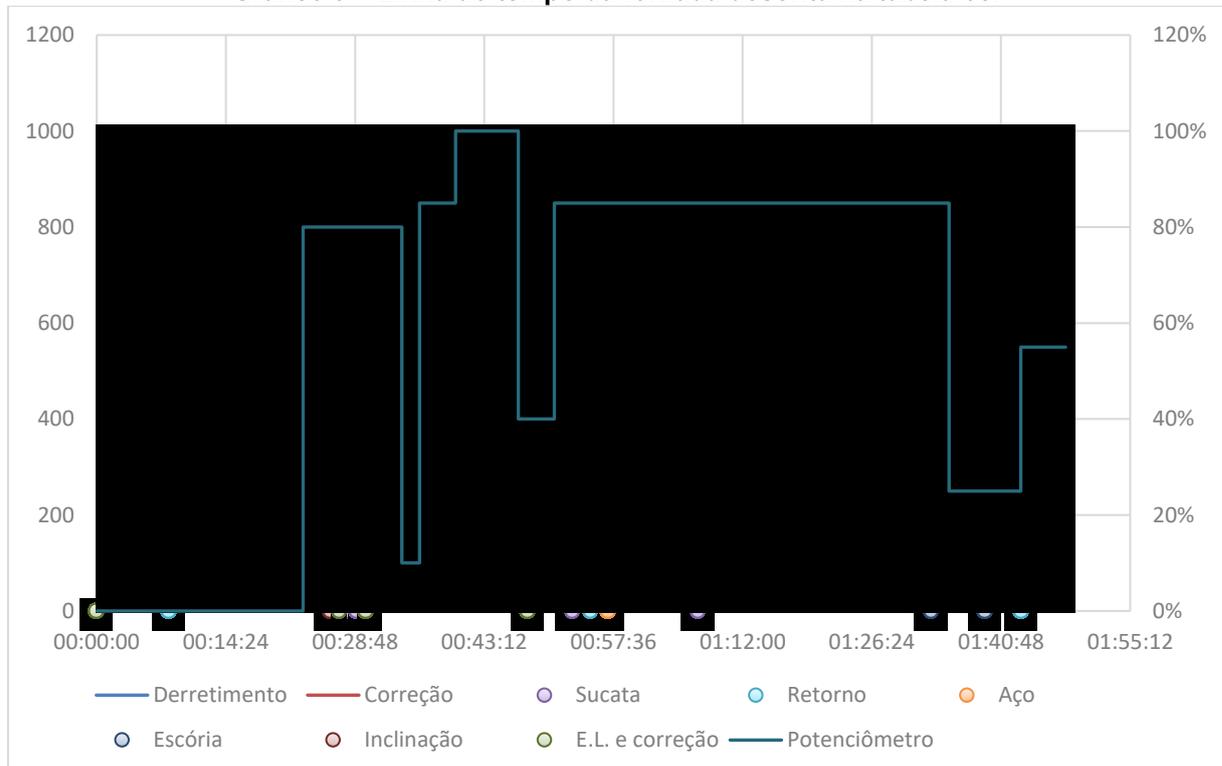
Informações	
Ferro Fundido	G4000
Sucata	900 kg
Retorno	300 kg
Retorno Jateado	500 kg
Retorno Líquido	100 kg
Aço	150 kg
Grafite	3 kg
Carbono petróleo	10 kg
Carburante	10 kg

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 65 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 65.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Sucata média	10:51
Sucata	Bloco motor	11:19
Sucata	Sucata grande	11:20
Sucata	Sucata pequena	11:21
Sucata	Calota	11:39
Sucata	Sucata pequena	11:44
Sucata	Sucata grande	11:58
Retorno	Metal líquido (100 kg)	10:59
Retorno	Retorno jateado	11:46
Retorno	Retorno jateado	12:34
Aço	Aço sucata	11:48
Escória	Escória	12:24
Escória	Escória	12:30
Inclinação	Arrumar	11:17
E. L. e correção	Grafite	10:51
E. L. e correção	Elementos de liga	11:18
E. L. e correção	Carburante de petróleo	11:21
E. L. e correção	Carburante	11:39

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 9 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 65.

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 66 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 07 de agosto com início às 12:05.

Informações	
Ferro Fundido	G4000
Sucata	600 kg
Retorno	1000 kg
Retorno Jateado	0 kg
Retorno Líquido	0 kg
Aço	200 kg
Grafite	5 kJg
Carbono petróleo	5 kg
Carburante	5 kg

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 67 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 67.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Sucata média	12:05
Sucata	Bloco 4cc	12:05
Sucata	Sucata média	12:26
Sucata	Calota	12:26
Sucata	Sucata grande	12:44
Sucata	Bloco 4cc	12:47
Sucata	Sucata chapa	13:12
Sucata	Bloco 4cc	13:13
Retorno	Massalote, canal grande	13:04
Retorno	Canal pequeno	13:22
Aço	3 aço compensado	12:59
Aço	Aço compensado	13:02
Escória	Escória	13:27
Inclinação	Inclinação	12:45
Inclinação	Arrumar	12:49
E. L. e correção	Carburante de petróleo e grafite	12:48
E. L. e correção	Carburante	12:58
E. L. e correção	Medalha	13:26
E. L. e correção	Queima	13:28
E. L. e correção	Correção	13:34
E. L. e correção	Forno -> Panela	13:36
E. L. e correção	Panela -> Forno	13:38
E. L. e correção	E. L.	13:49
E. L. e correção	Medalha	13:50
E. L. e correção	Queima	13:52
E. L. e correção	Correção	13:57
Vazamento	1º Vazamento	13:43
Vazamento	2º Vazamento	14:00
Vazamento	3º Vazamento	14:13

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 10 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 67.



Tabela 68 – Dados do enchimento do forno 6 no dia 14 de agosto com início às 13:26.

Informações	
Ferro Fundido	G3000
Sucata	950 kg
Retorno	700 kg
Retorno Jateado	0 kg
Retorno Líquido	0 kg
Aço	220 kg
Grafite	5 kg
Carbono petróleo	8 kg
Carburante	8 kg

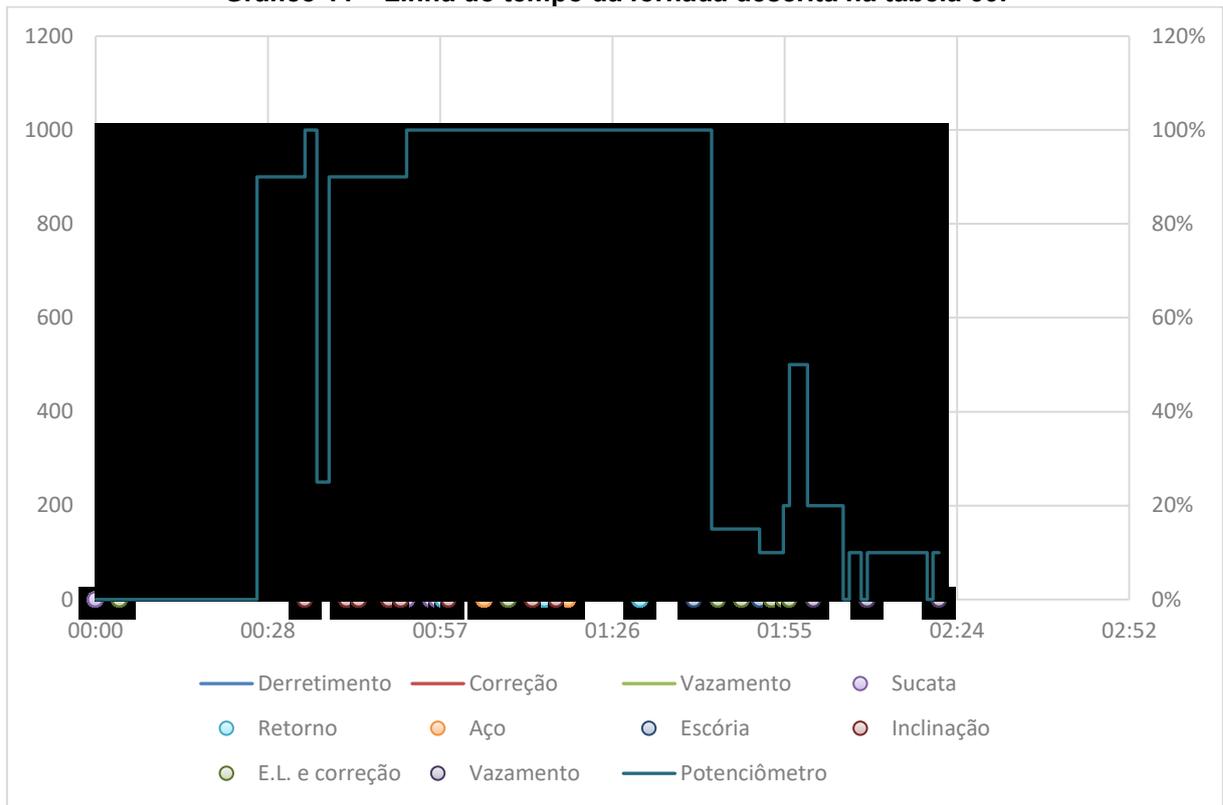
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 69 – Tempos dos processos da fornada descrita na tabela 69.

	Elemento	Hora de início
Sucata	Sucata média + bloco	13:26
Sucata	Sucata média	14:18
Sucata	Calota	14:22
Sucata	Sucata média	14:23
Retorno	Retorno pequeno	14:24
Retorno	Retorno pequeno	14:41
Retorno	Retorno galão	14:57
Aço	Sucata aço	14:31
Aço	Sucata aço	14:45
Escória	Escória	15:06
Escória	Escória	15:17
Inclinação	Inclinação	14:01
Inclinação	Inclinação	14:08
Inclinação	Ajeitar	14:10
Inclinação	Inclinação	14:15
Inclinação	Ajeitar	14:17
Inclinação	Inclinação	14:25
Inclinação	Inclinação	14:39
Inclinação	Ajeitar	14:43
E. L. e correção	Carbono grafite	13:30
E. L. e correção	Carburante + carburante petróleo	14:35
E. L. e correção	Medalha	15:10
E. L. e correção	Queima	15:14
E. L. e correção	Correção (carbono)	15:19
E. L. e correção	Forno -> Panela	15:21
E. L. e correção	Panela -> Forno	15:22
Vazamento	1º Vazamento	15:26
Vazamento	2º Vazamento	15:35
Vazamento	3º Vazamento	15:47

Fonte: Autoria própria (2019).

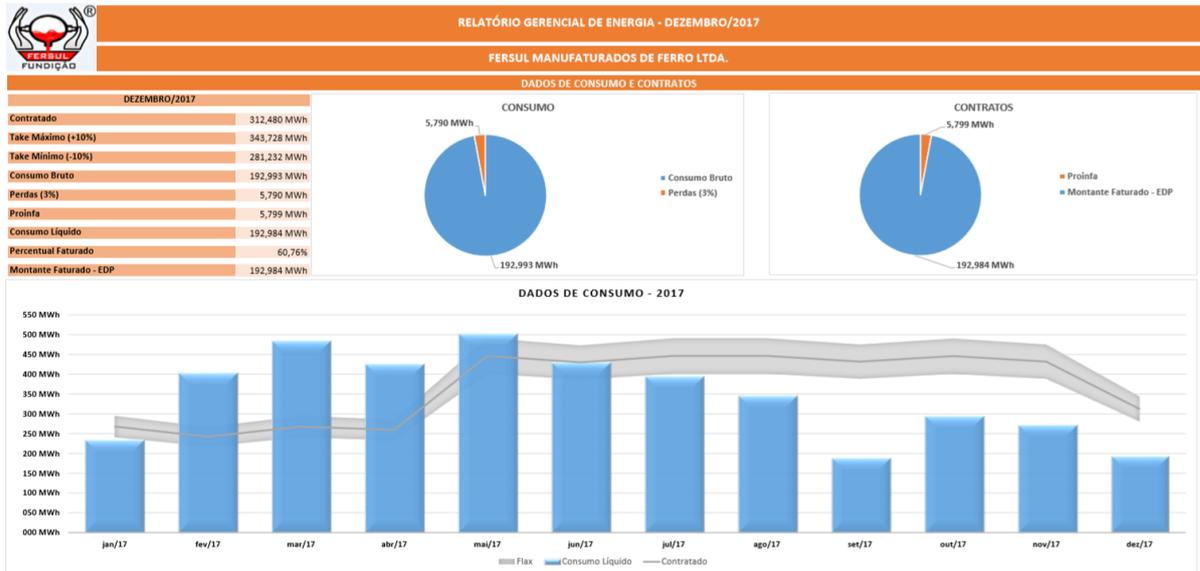
Gráfico 11 – Linha do tempo da fornada descrita na tabela 69.



Fonte: Autoria própria (2019).

ANEXO A – FATURA ENERGÉTICA DO MÊS DE DEZEMBRO DE 2017

Figura 23 - Relatório gerencial de energia emitido pela Atmo,



Fonte: Relatório Gerencial de Energia (2017).