



Eficiência Energética na Indústria da Fundição

MIGUEL ALEXANDRE DA SILVA CORREIA

Setembro de 2016

Eficiência Energética na Indústria da Fundição

Miguel Alexandre da Silva Correia



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Miguel Alexandre da Silva Correia, Nº 1030161, 1030161@isep.ipp.pt

Orientação científica: José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Empresa: Chamberlin & Hill castings Ltd, United Kingdom



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Aos meus pais...

Agradecimentos

Ao Senhor Professor Doutor José António Beleza Carvalho, pela oportunidade em ser meu orientador.

A Rika Okamoto, pelo apoio, companheirismo e documentação facultada sobre eficiência energética no âmbito industrial europeu.

A Michel Domingues, pelo apoio e documentação facultada sobre melhoria contínua.

A Michael Kent, director de operações da unidade de Leicester, o qual me permitiu desenvolver este estudo e implementar as ferramentas de gestão operacional criadas ao longo da minha estadia enquanto responsável pela melhoria contínua da unidade.

A todos os meus colegas e colaboradores que se esforçaram para que toda a reorganização fosse realizada, implementada e que pudesse vir a ter resultados positivos.

Resumo

O trabalho proposto teve como objetivo a redução no consumo de energia elétrica de uma empresa de fundição, através do desenvolvimento de atividades e operações de melhoria contínua para suporte na gestão de produção.

A ação teve como meta atingir uma redução de custos até 20% do nível do consumo de energia elétrica global pela empresa. Esta redução visou permitir e contribuir para a melhoria de várias condições: a redução do impacto ambiental ao nível da redução das emissões através de uma produção otimizada, a melhoria da eficiência energética com a redução do consumo global de energia elétrica, a criação de um modelo operacional dinâmico de gestão para as restantes unidades operacionais tendo como experiência o realizado na empresa Chamberlin & Hill Ltd, na unidade operacional de Leicester, Reino Unido.

Esta estratégia permitiu detetar pontos críticos de consumo excessivo de energia e identificar ineficiências no fluxo operacional produtivo. Estas ineficiências favoreciam o desperdício através de ações sem valor acrescentado.

Como projeto, foi proposta a reorganização e otimização de um dos produtos de produção continuada com maior valor quantitativo anual: a carcaça de um turbo compressor para o setor automóvel.

A meta teórica imposta pela administração foi a tentativa de alcançar a redução de custos até 20% do custo operacional do produto ao nível da redução no seu consumo energético produtivo. Esta redução de custos permitiria o futuro desenvolvimento de um modelo estratégico de investimento para as restantes unidades operacionais do grupo.

Atendendo a que a empresa alvo é uma fundição, o consumo de energia é quase sempre o maior custo económico representativo neste tipo de empresas. A limitação à não existência de investimento financeiro inicial nesta fase, levou a que fosse decidido ter uma abordagem unicamente na gestão operacional (redução de tempos de ciclo, eliminação de

tarefas sem valor acrescentado impondo um ambiente LEAN e com foco único nas técnicas de melhoria contínua da gestão industrial, energética e ambiental).

A monitorização e avaliação das intervenções de melhoria contínua foram realizadas através da consulta direta ao fornecedor de energia elétrica. Foram obtidos os dados com os consumos elétricos diários, tornando-se possível monitorizar e avaliar a redução alcançada durante o período de tempo considerado. Durante o período de avaliação, foram mantidas as condições equivalentes de produção para uma medição direta das variáveis em estudo comparativo.

A avaliação da implementação desta estratégia permitiu verificar algumas vantagens tais como:

- Identificação dos pontos de maior consumo de energia a serem monitorizados.
- Identificação dos equipamentos a requererem investimento financeiro para calibração, reparação ou substituição por equipamentos mais eficientes ao nível energético, produtivo e ambiental.
- Redução dos custos financeiros operacionais criando oportunidades de investimento em soluções e equipamentos sem alteração do orçamento anual da empresa, cujo impacto para libertação de fundos requer sempre autorização dos acionistas.

Como potencial desvantagem, verificaram-se reduções quantitativas no âmbito humano laboral, nomeadamente na componente de redução do número de trabalhadores necessários para o desempenho das mesmas tarefas. O aumento da eficiência produtiva levou à redução do número global dos efetivos para o desempenho das mesmas funções.

Palavras-Chave

Eficiência energética, LEAN, melhoria contínua, gestão de operações, gestão de energia.

Abstract

The proposed work had as objective to be a reduction in energy consumption of a foundry company casting, through the development of activities and operations on continuous improvement actions for support in the management of production.

The action had the goal to achieve a reduction of costs up to 20% of global electricity consumption by the company. This reduction aimed to enable and contribute to the improvement of several conditions: the reduction of the environmental impact at the level of emission reductions through a streamlined production, improving energy efficiency by reducing the overall consumption of electrical energy, the creation of a model dynamic operational management for the remaining operational units having as an experience carried out in the company Chamberlin & Hill Ltd, the operating unit of Leicester, United Kingdom.

This strategy worked out, made it possible to detect critical points of excessive consumption of energy and identify inefficiencies in the operational flow of production that would favor the waste or actions without added value.

As a project, it was proposed the reorganization and optimization of a product of production continued with greater quantitative value per year: the turbo compressor housing for the automotive sector.

The goal theory imposed by the administration, was attempting to achieve a cost reduction up to 20% of the operating cost of the product at the level of the reduction in energy consumption productive. This cost reduction would allow the future development of a strategical model of investment for the remaining operational units of the group.

Given that the target company is a foundry, energy consumption is almost always the most economic cost representative of this type of business. The limitation to non existence of financial investment in this initial phase, meant that it was decided to have an approach solely on operational management (reduction of cycle times, eliminating tasks without

added value by imposing an environment lean and focused only on continuous improvement actions in industrial management, efficiency and environmental).

The monitoring and evaluation of interventions of continuous improvement were obtained by direct consultation to the supplier of electrical energy. Through the discharge of the file with the consumptions daily electrical, it was possible to monitor and assess the reduction achieved over a period of time with the same volume of production.

The evaluation of the implementation of this strategy has shown some advantages such as:

- Identifying the greatest energy consumption to be monitored.
- Identification of equipment requiring financial investment for repair or replacement for more efficient equipment at the energetic level, productivity and environmental.
- Reduction of financial costs, operational creating opportunities for investment in solutions and equipment without changing the annual budget of the Company, whose funds releasing impact requires authorization of the shareholders.

As a potential drawback, there have been reductions in on human scope of labor, particularly in reducing the number of workers needed for the performance of the same tasks. This efficiency improvement has led to a reduction in the overall number of herds for the performance of the same functions.

Keywords

Energy efficiency, lean, continuous improvement, operations management, energy management.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	IV
ABSTRACT	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABELAS	11
ACRÓNIMOS	12
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
1.1.OBJECTIVOS.....	133
1.2.CALENDARIZAÇÃO.....	144
1.3.ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	144
2. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
2.1.VISÃO E ENQUADRAMENTO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
2.2.A ESTRATÉGIA EUROPEIA	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
2.3.A ESTRATÉGIA DO REINO UNIDO	20
2.4.CONCLUSÃO.....	23
3. O ESTUDO.....	24
3.1.A NECESSIDADE DO ESTUDO	24
3.2.A METODOLOGIA APLICADA	24
3.3.ESTADO ATUAL VERSUS ESTADO FUTURO	25
3.4.CONSIDERAÇÕES E LIMITAÇÃO À AÇÃO	26
3.5.CONCLUSÃO.....	26
4. A METODOLOGIA DESENVOLVIDA	28
4.1.INTRODUÇÃO	28
4.2.A EMPRESA ALVO.....	29
4.3.OS CONSUMOS ASSOCIADOS AO ESTADO ATUAL.....	32
4.4.PRINCÍPIOS COMUNS DE PROJETO	35
4.5.O PRODUTO EXEMPLO.....	35
4.6.A REORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	39
4.7.OS CONSUMOS ASSOCIADOS AO ESTADO FUTURO	47
4.8.CONCLUSÃO	49

4.9.RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	50
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
6. GLOSSÁRIO.....	56
7. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	57
8. ANEXOS.....	59

Índice de Figuras

Figura 1. Lucro consequente da redução do consumo energético (CIPEC, 2003)	16
Figura 2. Energia média específica consumida em alguns processos em fundições (2010, BDG)	17
Figura 3 Distribuição do consumo de energia elétrica numa fundição (NFTN, 2015)	18
Figura 4 Medidas por setor para redução de energia e emissão de CO2 (MURE,2015)	20
Figura 5 Evolução da tendência de indicadores até 2030 (MURE,2015)	23
Figura 6 Planta da organização da empresa (C&H, 2015)	29
Figura 7 Exemplos de peças fundidas produzidas (C&H, 2015)	30
Figura 8 Linha de produção semiautomática <i>Hunter</i> (C&H, 2015)	31
Figura 9 Software para análise de tensões e otimização de sistemas de alimentação (C&H, 2015)	31
Figura 10 Perfil da potência horária consumida ao longo do mês de Setembro (C&H, 2015)	32
Figura 11 Perfil da potência consumida ao longo do mês de Setembro (C&H, 2015)	33
Figura 12 Tarifas aplicadas durante as horas de produção (C&H, 2015)	34
Figura 13 Gráfico de custo total horário para o mês de setembro (C&H, 2015)	34
Figura 14 O produto para avaliação (C&H, 2015)	36
Figura 15 Placa molde do estado actual (C&H, 2015)	37
Figura 16 Placa molde do estado futuro (C&H, 2015)	38
Figura 17 Plano metalográfico e plano operacional produtivo (C&H, 2015)	40
Figura 18 O Value Stream Map do estado futuro (C&H, 2015)	46
Figura 19 Exemplos de elementos do sistema visual implementado (C&H, 2015)	46
Figura 20 Exemplo de Otimização do fluxo produtivo na produção de machos (C&H, 2015)	47
Figura 21 Perfil de consumos diário (C&H, 2015)	48
Figura 22 Total consumo horário em kW/h com base mensal (C&H, 2015)	48

Figura 23 Perfil da Potência horária no estado futuro (C&H, 2015)	49
Figura 24 Mapa do fluxo do processo produtivo (C&H, 2015)	50
Figura 25 Perda de calor num forno de indução tampa aberta/fechada (AFS, 2015)	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 Avaliação da melhoria imposta pela redução de massa do sistema de alimentação	39
Tabela 2 Avaliação da melhoria imposta pela redução do tempo de preparação setup	42
Tabela 3 Avaliação da melhoria imposta pela otimização no sistema HUNTER	44
Tabela 4 Avaliação da melhoria imposta pela otimização no sistema de acabamento	45

Acrónimos

5 S – Seiton, Seiri, Seiso, Seiketsu e Shitsuke

A - Ampére

AVAC – Ar Ventilado e Ar Condicionado

Brexit – Abreviação do termo "British exit"

°C - Grau Célsio

CE – Conselho Europeu

CT – Cycle Time

DMAIC – (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)

h - hora

kg - kilograma

K - Kelvin

LEAN 6 – LEAN Seis Sigma

OEE – Overall Equipment Effectiveness

SMED – Single Minute Die Exchange

TEEP – *Total Effective Equipment Performance*

TOC – Theory Of Constrains

V - Volt

VSM – *Value Stream Map*

W - Watt

1. Contextualização

A responsabilidade em tentar manter a organização dentro de padrões competitivos de mercado, obriga-a a planear um conjunto de ações que permitam reduzir os custos operacionais energéticos ao máximo. Como todas as operações numa fundição envolvem direta ou indiretamente o consumo de energia elétrica, foi determinado a aposta num plano de ação aplicado ao nível da gestão da produção fundamentado pelas técnicas de melhoria contínua. Este plano, visou não só a redução do consumo de energia elétrica mas também a redução de todos os desperdícios possíveis de detetar de forma a poder minimizar-se o custo operacional final.

Como o autor assume funções de responsável pelo plano de melhoria contínua na organização, o desenvolvimento e implementação do plano de acções na empresa para melhoria da eficiência energética local surge como tema desta tese.

1.1 Objectivos

O objectivo principal deste projecto, é a redução consumo de energia eléctrica na empresa, através da implementação de acções operacionais de melhoria contínua.

Dada a complexidade inerente a este objectivo, sentiu-se a necessidade de o subdividir em múltiplas tarefas de realização mais simples, tais como:

A análise e avaliação dos procedimentos iniciais da organização industrial em vigor;

A formulação da reorganização operacional em etapas de implementação;

A medição, monitorização e comparação dos resultados obtidos com a implementação de novas ferramentas de gestão industrial e reorganização das actuais existentes;

A análise de eficiência energética obtida com a reorganização industrial implementada;

Indicadores Económicos da nova abordagem e análise crítica geral à solução económico-técnica

1.2 Calendarização

Sendo a implementação das ferramentas de gestão industrial para obtenção da melhoria na eficiência energética a motivação deste trabalho, a sua prossecução conduziu à calendarização a seguir apresentada. Esta inclui um conjunto de tarefas, como por exemplo: o estudo do fluxo do processo produtivo em curso, a análise e organização das ferramentas a implementar, teste e validação da solução proposta através da avaliação económica.

Calendarização da ação de melhoria contínua:

Ação	Duração	Observações
Análise do estado atual	30 dias	Medição do consumo total de energia elétrica. Avaliação das necessidades, desperdícios em curso e ações de melhoria a desenvolver.
Organização do projeto	15 dias	Value Stream Map, LEAN 6 Sigma, TEEP, TOC, DMAIC, 5S, OEE
Implementação das ações	30 dias	Reorganização do fluxo produtivo
Análise do estado futuro	30 dias	Medição do consumo total de energia elétrica. Cálculo e avaliação das métricas de eficiência

1.3 Estrutura e organização do documento

No capítulo 1 é introduzido o tema e são referidos os objetivos a atingir.

No capítulo 2 resume-se a uma parte da estratégia europeia sobre a eficiência energética assim como é abordada a importância e potencialidades da implementação da gestão industrial no âmbito da redução dos consumos energéticos de acordo com a estratégia europeia.

O capítulo 3 explicita o modelo utilizado no estudo bem como as ferramentas disponibilizadas para a obtenção dos resultados.

O capítulo 4 descreve o caso de estudo em questão, onde serão apresentadas as considerações do plano de ações e uma análise técnica e económica referente aos resultados obtidos. Será também apresentada a justificação e considerações nas tomadas de decisão a diferentes níveis.

No capítulo 5, será apresentada a análise crítica e conclusões obtidas relativamente ao projeto realizado.

2. Eficiência energética

A eficiência energética deve ser um item a melhorar continuamente em qualquer organização, já que esta permite não só um contributo positivo para o ambiente mas também para a redução dos custos económicos de operação em qualquer organização.

Na empresa alvo deste estudo, as áreas identificadas para potencial melhoria em consumos e custos energéticos estão geralmente associadas às áreas da moldação, ventilação e sistemas de ar ventilado e ar condicionado, ar comprimido e iluminação.

Após apresentação das oportunidades para melhoria e redução dos custos por consumo energético, verificou-se que estas oportunidades não tinham sido previamente identificadas devido à falta de consciencialização para este tema e desconhecimento das ferramentas de gestão a utilizar. A resposta apontada para esta falta de consciencialização ou a questão nunca ter sido alvo de prioridade, foi devido a nunca ter sido quantificado o impacto do potencial económico gerado com este tipo de redução.

A título de exemplo, pode ser verificado na figura seguinte a quantificação do impacto que uma redução em 35% nos custos de energia poderá significar nos resultados económicos de uma empresa.

If the original profit margin is:	and if a plant's energy cost percentage is:					
	3%	4%	5%	6%	7%	8%
	and energy costs were reduced by 35%, then the profit margin percentage will increase by the percentage below:					
1%	104%	139%	173%	208%	242%	277%
2%	51%	69%	86%	103%	120%	137%
5%	20%	27%	33%	40%	46%	53%
10%	9%	13%	16%	19%	22%	25%
20%	4%	6%	7%	8%	9%	11%
30%	3%	4%	5%	6%	7%	8%

Figura 1 . Lucro consequente da redução do consumo energético (CIPEC, 2003)

2.1 Visão e enquadramento

As empresas de fundição, de uma forma geral face aos recursos utilizados, são já de si modelos de produção com uma componente alta relativa à eficiência geral. Os seus produtos acabados poderão ser o resultado da inclusão em grande parte de materiais reciclados ao nível dos materiais de moldação (areia, água e agregante) ou capacidade de produção de energia térmica para fins próprios ou disponibilização ao mercado (como a produção de vapor e energia elétrica).

A necessidade de fundir e arrefecer materiais obriga a um consumo elevado de energia disponível. É possível quantificar em média a necessidade de consumo de 5600 kWh de energia por tonelada métrica considerando um produto fundido acabado (2012, Heisser). Como exemplo, pode ser referido, um consumo total médio de 11 biliões de kWh por ano só na indústria de fundição alemã (2012, Heisser). Considerando que regra geral, os sistemas de alimentação e de suporte da peça fundida representam um rácio aproximado de 50% na maioria das empresas (geralmente inferior nas pequenas empresas), apenas metade desta energia consumida está representada no produto final, perdendo-se nos sistemas de apoio e alimentação. Além disto, deve ser considerado o impacto ambiental na produção de emissões de CO₂ para que a rede elétrica local esteja capacitada para o fornecimento de energia para estas unidades industriais. Se for tomado como exemplo de que para ser processado uma tonelada métrica de ferro fundido, em média é necessário o consumo de 1000 kWh de energia elétrica e de 100 kg de coque (2010, BDG), isto representará a emissão entre 1500 a 2000 kg de CO₂ por tonelada métrica de produto final fundido.

Process	Castiron	Steel
	kWh/t	kWh/t
Melting	944	1.000
Heat Treatment	42	514
Ladle Preparation	214	214
Molding	171	120
Cleaning	128	171

Figura 2. Energia média consumida em alguns processos em fundições (2010, BDG)

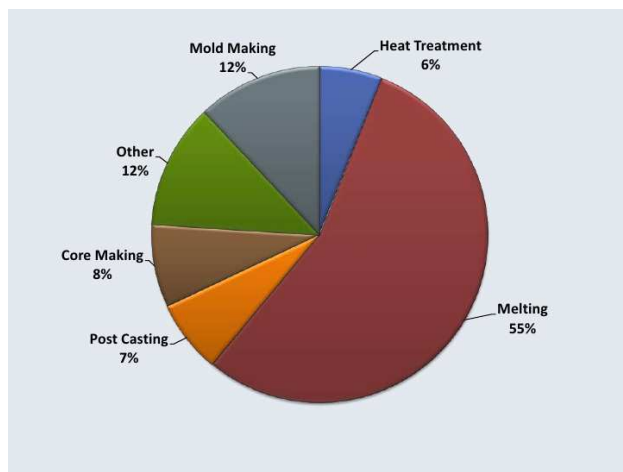


Figura 3. Distribuição do consumo de energia elétrica numa fundição (NFTN, 2015)

A figura anterior ilustra percentualmente, onde geralmente estão distribuídos os consumos de energia elétrica numa fundição.

Com este consumo operacional médio, compreende-se a necessidade económica do desenvolvimento de ações de melhoria contínua para redução dos consumos energéticos, já que estes representam a maior parte dos custos em unidades industriais deste tipo.

As ações de melhoria geralmente desenvolvidas refletem-se ao nível da otimização da utilização de energia nos processos, na conceção de produto e sistemas de alimentação de material, na gestão dos recursos (softwares de simulação e gestão de processos, equipamentos, isolamento, e subprodução de outras formas de energia) e gestão operacional do fluxo produtivo.

Neste contexto, pretendeu-se desenvolver um plano de ações suportadas pelas ferramentas de melhoria contínua de forma a permitir obter-se uma redução geral no consumo de energia elétrica com a consequente redução dos seus custos associados.

2.2 A estratégia europeia

A aposta da União Europeia na reindustrialização como forma de garantir uma estabilidade económica, social e ambiental entre os seus estados membros, revela a necessidade de elaborar estratégias de longo prazo que permitam ultrapassar a

dependência de agentes externos no que concerne à disponibilidade da energia necessária condicionada pela disponibilidade de recursos energéticos próprios.

A eficiência energética é o valor acrescentado para esta necessidade. Esta estratégia permite responder às questões anteriores além de incentivar a criação e implementação de novas soluções tecnológicas.

O Conselho Europeu (CE) estabeleceu determinadas conclusões em março de 2007, relativas à necessidade de aumentar a eficiência energética, tendo a meta de redução em 20% o consumo de energia até 2020. Em junho de 2010, o CE confirmou este objetivo como sendo um dos alvos prioritários a atingir pelos seus Estados Membros, assumindo-se como a principal estratégia para a criação de emprego e um crescimento sustentável baseada na utilização dos seus próprios recursos energéticos. Esta estratégia está designada como Estratégia Europeia 2020. Em 2011, foi estabelecido um mapa de objetivos futuros onde se destaca o objetivo de alcançar uma economia competitiva em 2050, baseada na reduzida emissão de gases com efeitos de estufa em 80% acompanhada da eliminação destes, com produção com origem no setor de produção elétrica.

A Diretiva 2012/27, estabeleceu um enquadramento comum de medidas para a promoção da eficiência energética dentro da União Europeia. Ficou assim formalizada a urgência de atingir o objetivo “20-20-20” (redução em 20% dos níveis de 1990 na emissão de gases com efeito estufa, aumentar em 20 % o consumo final de energia através de energias renováveis e melhorar a eficiência energética em 20%) até 2020. Ficou decretado que os Estados Membros deveriam implementar a maioria das suas cláusulas até 5 de junho de 2014.

O mundo mudou desde que o acordo estratégico “20-20-20” foi criado. A crise económica europeia não esperada condicionou a evolução das metas a atingir e a serem revistas devido aos orçamentos públicos alocados por cada Estado Membro. Com esta condicionante, alguns potenciais de melhoria viram a sua *performance* reduzida segundo o expectável. Alguns Estados Membros tentam ainda proteger as suas indústrias energéticas criando impostos diretos e indiretos, relacionados com o fornecimento de energia externa, de forma a proteger a competitividade interna.

2.3 A estratégia do Reino Unido

Cada setor relativo ao consumo de energia no Reino Unido referente à eficiência energética, está retratado no documento estratégico National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP), (DECC 2014).

Apesar da crise económica na Europa e dos potenciais efeitos do *Brexit*, o Reino Unido ainda apresenta uma tendência de crescimento estável na sua economia, com o setor terciário liderando os demais. Esta evolução do setor terciário ocorre devido à indústria pesada estar a deslocar-se para países com menores custos laborais e legislações ambientais mais permissivas.

Pode ser verificado na figura seguinte que durante o período compreendido entre 1970 até 2012, existe uma tendência decrescente ao nível do consumo das energias primárias e finais. Isto sugere também estratégias com melhorias implementadas ao nível da eficiência energética, especialmente no setor doméstico, na utilização de energias alternativas, entre outras. Não deve ser ignorado o efeito provocado por variáveis não controláveis como as alterações climáticas que permitiram Invernos menos frios.

Em 2012, o governo do Reino Unido, lançou a sua Estratégia rumo à Eficiência Energética (*Energy Efficiency Strategy Act*), atualizada em 2013, na qual identificou as barreiras e estabeleceu medidas e metas a atingir para o período de 2012 até 2017.

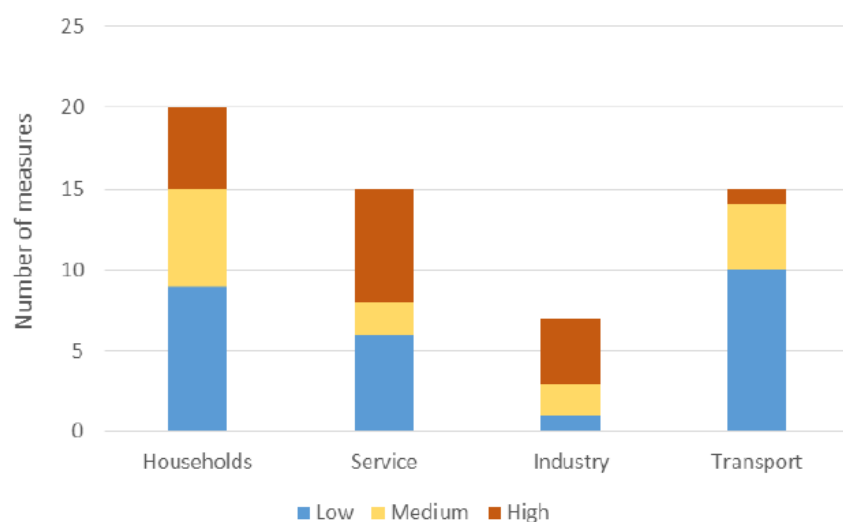


Figura 4. Medidas implementadas por setor para redução de energia e emissão CO2 (MURE,2015)

O governo já implementou uma série de acordos públicos que permitiram uma clara aposta na eficiência energética nas últimas décadas (*Climate Change Levy, Climate Change Agreements, Vehicle Excise Duty, CRC Energy Efficiency Scheme, Renewable Transport Fuel Obligation*). Estes acordos permitiram uma redução global do consumo de energia, emissão de gases com efeito estufa além da redução de custos ligados ao setor doméstico (*Energy Labelling*). Este último visando obrigações energéticas para os proprietários de imóveis.

A maioria das medidas de elevado impacto foram implementadas no setor dos serviços e edifícios. Foi o resultado produzido pelas diretivas públicas como a *Energy Performance of Buildings Directive, CRC Energy Efficiency Scheme, Carbon Emissions Reduction Target, Carbon Trust* entre outras.

Algumas medidas implementadas entre 2012 e 2015 no setor dos edifícios domésticos (ver anexo 1), como o *Green Deal* (um programa que permite fundos para investimento em medidas de eficiência energética alocadas ao edifício e não ao proprietário) permitiram uma redução significativa no consumo de energia para uso doméstico. Esta foi acompanhada também com regras de isolamento ao nível da construção, referidas no decreto *Supplier Obligations Act*. Com o decreto *Energy Company Obligation*, permitiu-se uma regulação visando a redução no custo de energia fornecida aos consumidores domésticos.

Ao nível dos edifícios não-domésticos (ver anexo 1), o Departamento de Energia e Alterações Climáticas (DECC) está a liderar um programa de implementação de sistemas de monitorização através da instalação de contadores de energia inteligentes (*Energy Smart Meters Program*). Estimou-se que ao longo dos 20 anos de programa de instalação, possa obter-se lucros líquidos na ordem das 6.7 biliões de Libras (£) já que o governo estima para perto de 2020, que o cliente pequeno/médio consumidor possa poupar mais de 100 libras (£) individualmente da sua conta de energia em resultado da utilização dos contadores inteligentes (DECC, 2013). Isto reflete na diminuição global da necessidade bruta de produção de energia para fornecimento.

No setor dos transportes, a redução da intensidade de energia utilizada ao longo das últimas décadas, foi devido a diversos fatores (ver anexo 1) como o *EC Voluntary Agreement*, com a Associação Europeia de Fabricantes Automóveis (EAMA) através da

introdução pelo governo do *Vehicle Excise Duty*, e o estímulo para a procura por veículos de menor consumo de combustível por parte dos utilizadores. No entanto devido a um crescimento económico sustentável ao longo dos anos, o consumo de energia no setor dos transportes deverá continuar a revelar uma tendência de crescimento (25% do total das emissões de CO₂ em 2012 quando comparado com 21% em 1990). Em 2015, o governo reformulou o imposto sobre os veículos *Vehicle Excise Duty* (VED) além do encerramento do programa de fundos para aquisição de veículos elétricos (até 25% do custo ou 5000 libras (£) ou de células de hidrogénio, designado por *Plug-In Car Grant*), promovendo a venda do 50.000 veículo elétrico (EV), o qual começou em 2011 para consumidores privados. Em sua substituição, foi implementada o financiamento para aquisição de veículos com emissões abaixo de 75 g/CO₂ por km. Estima-se que as medidas fiscais e legislativas implementadas permitirão poupanças significativas ao nível da emissão abaixo dos 130g CO₂/kg por km para todos os veículos novos de passageiros desde 2015 e 95gCO₂/km como alvo para 2020.

No setor da indústria, alguns tipos de indústrias pesadas utilizam um consumo de energia por unidade superior do que os restantes Estados Membros de União Europeia. È o caso da indústria do aço, onde a utilização de processos à base de oxigénio consomem mais energia do que processos por arco elétrico.

No Reino Unido existem três políticas que afetam diretamente o setor da indústria: *Climate Change Agreements (CCAs)*, *Climate Change Levy (CCL)*, *Enhanced Capital Allowances (ECA)* (ver anexo 1).

Estas políticas foram delineadas através do plano *The 2011 Carbon Plan*, onde foi declarado a intenção da diminuição em 80 % das emissões de gás com efeito estufa entre 1990 e 2050.

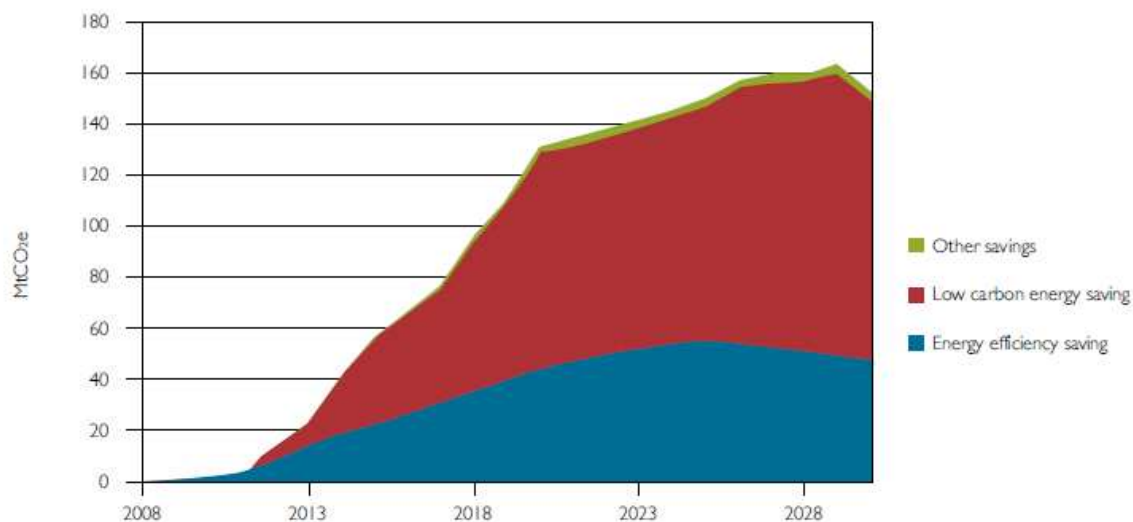


Figura 5. Evolução da tendência dos indicadores até 2030 (MURE,2015).

2.4 Conclusão

Uma eficiente gestão do consumo de energia, é uma estratégia global de redução de custos com imediato impacto no lucro gerado por entidades geradoras de riqueza, diminui a necessidade da capacidade produtiva disponível requerida além de contribuir para uma melhoria geral do ambiente. No longo prazo, é uma estratégia de proteção contra potenciais futuros aumentos no custo do fornecimento da energia elétrica, regulamentações comunitárias ambientais e proteção da capacidade de competitividade.

3. O Caso de Estudo

3.1 A necessidade do estudo

Sendo o setor da fundição, um setor com especial atenção devido às perdas energéticas condicionadas pelo próprio processo de produção, tornou-se necessário desenvolver estratégias que permitissem manter a competitividade do setor. Isto requer especialmente importância junto dos demais Estados Membros da União Europeia de proteger o setor da competitividade dos países emergentes com menores custos laborais, já que a exportação tem um elevado impacto económico na saúde financeira do grupo empresarial.

3.2 Metodologia utilizada

Foi realizado um levantamento dos equipamentos, processos, operações, consumos e necessidades produtivas planeadas para o mês subsequente de forma a poder-se formular uma estratégia de ação, monitorização e avaliação das ações implementadas.

Foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Teoria das Restrições (TOC) para caracterização, identificação e otimização das restrições durante o fluxo produtivo;
- Value Stream Map (VSM) para identificação dos atrasos e desperdícios decorrentes em todo o fluxo do processo produtivo;
- Diagramas de fluxo (Spaghetti Diagrams) para identificar e eliminar movimentos não necessários de pessoas e materiais;
- Diagramas de Controlo para medição e monitorização da eficácia do processo;
- Gráficos de Pareto para identificação dos defeitos e variáveis mais comuns do processo;
- Histogramas para avaliação do desvio da eficiência do processo;

- Diagramas de Ishikawa para análise e documentação da causa raiz dos defeitos ou ineficiências detetadas;
- Matrizes de análise como planos de ação, listas de verificação entre outras;
- Mapas de processo, fluxogramas, entre outros sistemas de apoio à análise e tomada de decisão.
- *LEAN 6 Sigma* para estudo e identificação da capacidade e capacidade de controlo do processo produtivo, através da metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*);
- Reorganização da programação da produção através de ferramentas como o TEEP (*Total Effective Equipment Performance*) e o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

3.3 Estado Atual versus Estado Futuro

Após a conceção e reorganização do fluxo produtivo pretendido para o estado futuro, foram implementadas as ações determinadas e reorganizados os processos segundo as disposições referidas. Foram medidos os tempos de processo e produção do estado futuro para comparação com os do estado atual e verificação das métricas em análise.

O Estado atual

Procedeu-se à recolha da linha base de dados para o estado atual para que fosse possível comparar com os dados verificados no estado futuro.

Realizou-se o levantamento da potência elétrica do elemento de maior consumo (forno indutivo) de energia elétrica para avaliação.

Não foram alterados quaisquer equipamentos de consumo elétrico (lâmpadas, motores, entre outros) para que fosse possível uma análise comparativa com base nas mesmas condições operacionais.

Foi realizada a monitorização do quadro de consumos para um período mensal de forma a obter-se uma base de trabalho face à utilização no quadro inicial. Os consumos atuais

serão comparados com os consumos futuros após as alterações realizadas na gestão de produção e fluxo operacional produtivo.

Procedeu-se à recolha do registo mensal enviado pelo fornecedor de energia elétrica, assim como ao plano de produção previsto e executado para o mês em causa.

O Estado Futuro

Procedeu-se à recolha dos dados de consumo junto do fornecedor de energia elétrica. Foram comparados face à mesma quantidade produzida durante o estado atual. Os resultados decorrentes foram usados para a construção das métricas de avaliação de eficiência aqui apresentadas.

3.4 Considerações e limitações à ação

Devido a tratar-se de uma fundição centenária, com equipamentos muito antigos e a existência de restrições económicas à condução do projeto, não foi possível a monitorização da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) nas suas componentes. A avaliação das métricas de eficiência ficou condicionada pela avaliação dos consumos totais declarados pelo fornecedor de energia e não por sistemas implantados de gestão localizada de consumos. Desta forma, não foi possível atuar ao nível da minimização do impacto de problemas relacionados com a QEE neste tipo de instalações tais como a distorção harmónica da corrente e tensão, potencias reativas entre outras relacionadas com os equipamentos presentes.

3.5 Conclusão

A empresa compreendeu a obrigatoriedade de iniciar e estabelecer políticas que visem a eficiência energética, aproveitando a potencialidade interna existente ao nível da energia consumida e passível de poder vir a ser aproveitada sobre outras formas (energia térmica desperdiçada).

Foi tomada a decisão de iniciar uma estratégia visando a reorganização e otimização não só do seu ambiente produtivo mas também na potencialidade que os seus processos têm em gerar formas complementares de sistemas de gestão de energia para consumo próprio ou potencial fornecimento externo como produtor local.

4. Metodologia desenvolvida

Como caso de estudo deste documento, apresenta-se o projeto de melhoria contínua visando um aumento da eficiência energética realizado pelo autor numa empresa de fundição. Esta empresa é especializada produção de peças mecânicas para as mais variadas indústrias da área automóvel e auto mecanizada (militar, agrícola entre outras).

4.1 Introdução

Uma fundição é uma fábrica que produz peças e produtos fundidos metálicos proveniente de metais ferrosos e não ferrosos (Beely, 2001). O processo de fabrico geralmente é composto pela fusão de um metal sólido base a uma determinada temperatura e vazado para uma moldação representando a geometria negativa do objeto final (Henderson, 2009). Um molde para a construção de uma moldação é requerido já que esta representa uma réplica exata do produto fundido a obter.

Este processo de produção requer uma considerável quantidade de energia disponibilizada para ser realizado e os métodos operacionais de melhoria contínua contribuem para essa redução e otimização na sua utilização e desperdício.

A melhoria contínua está em constante evolução mas todas as metodologias seguem de uma forma geral, as mesmas fases: preparação, planeamento e estabelecimento de metas (Grunberg, 2003). O objetivo primário é a contínua identificação das restrições à produção através da identificação do problema, recolha de dados, análise dos processos atuais com revisão dos mesmos, geração de ideias de melhoria do estado atual, obtenção de consensos entre a equipa para o plano de ação e consequente avaliação e monitorização dos resultados finais alcançados.

Neste projeto, foram considerados para análise três objetivos que pudessem não só ter impacto na redução de custos gerais mas que pudessem ter uma ligação à eficiência energética, tema deste estudo. Neste contexto, ficou refletido a intenção em alcançar uma estratégia que permitisse uma melhor utilização dos mesmos recursos para obtenção da mesma energia elétrica consumida. Para isso, foi analisada a redução dos tempos de processo e a utilização dos equipamentos associados, a redução do peso do sistema de alimentação de um fundido modelo e a diminuição das horas laborais durante

a produção. Esta redução permitiu uma menor utilização quantitativa da energia elétrica necessária para a produção da mesma quantidade de produtos finais.

Atualmente, dada a competitividade imposta pela presença nos mercados das fundições nos países emergentes, metodologias como o Seis Sigma e métodos operacionais de gestão, permitem a implementação de ações de melhoria contínua visando o aumento da eficácia na redução de custos (Su e Chou, 2008). Estas metodologias permitem a eliminação da subjetividade nas tomadas de decisão (Maleyeff e Kaminsky, 2002) através de ferramentas como o *DEMAIC* (Definição, Medição, Análise, Melhoria, e Controlo).

4.2 A empresa

A empresa em causa localiza-se na área urbana da cidade de Leicester, Reino Unido. A unidade operacional de Leicester ocupa uma área total de vinte e três mil metros quadrados, tendo uma área concentrada de produção com oito mil e duzentos metros quadrados.

Fundada em 1864, inicialmente sob o nome de S. Russell & Son Limited, na zona de Bath Lane Leicester, foi realocizada em 1920 na rua Bonchurch street onde se encontra actualmente. adquirida em 2004 pelo grupo Chamberlin plc.

Acreditada no sistema de qualidade pela norma ISO 9001, obteve também creditações diversas como fornecedor certificado através de clientes como: Rotork (nuclear), cnh, Caterpillar, JCB, Kawasaki, Trelleborg, Stannah, Bosch Rexroth, stk, Perkins, Cummins, Bombardier, entre outros.

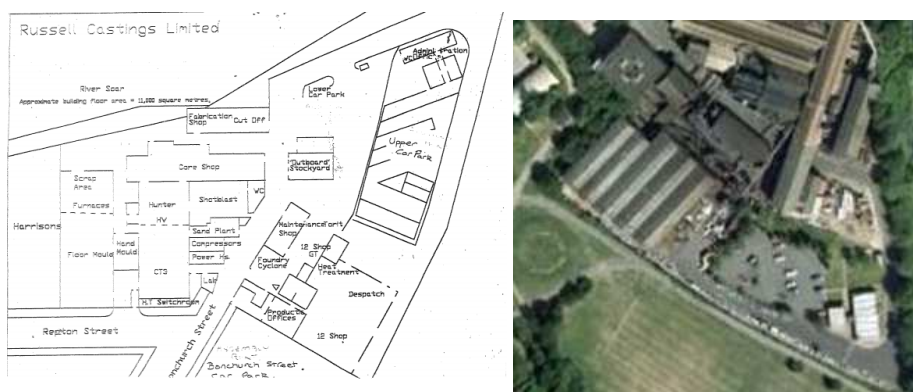


Figura 6. Planta da organização da empresa (C&H, 2015)



Figura 7. Exemplos de peças fundidas produzidas (C&H, 2015)

A empresa apresenta uma capacidade produtiva de nove mil toneladas de peças fundidas e está capaz de produção de produtos constituídos por qualquer tipo de ferro cinzento, (desde G180 até G350), ferro dúctil SG (L20 (400/18LT) e L40 (350/22LT), (400/18 (GGG40) até 700/2 e superior, A395, GH45 e GH60, SIMO, ASTM A897M e BS EN: 1564). Apresenta ainda um forno para tratamento térmico das peças produzidas.

No plano produtivo, a empresa está capacitada com uma área para produção de machos com equipamentos Eurocore Coldbox H12, H16, H25 Hansberg, Bullit CO2, máquinas PGM assim como duas Mech Ind Hotbox para areias de zircónia.

Na área de fundição, três fornos de 5 toneladas de capacidade e um forno de 10 toneladas, indutivos e com sistema de carga vibratória, com pesagem de matéria-prima além de um sistema de tratamento de metal via reação Sigmat com baldes transportadores de metal para vazamento, com capacidade de transporte até 500 kg de metal.

Na área de mistura de areia, uma máquina Hartley controladora com arrefecedor e correia transportadora. Na área de moldação, uma unidade semiautomática Hunter (500mm x 600mm x 180/180mm) de alta pressão para compressão de areia verde com capacidade para produção de setenta moldações por hora, com um peso compreendido entre 0,2 até 25 kg de capacidade. Para a produção de peças de maior dimensão, é utilizada uma segunda linha designada por BQ3, de 760mm x 560mm x 230/230mm, com capacidade de produção de cinquenta moldações por hora para um intervalo de peso de peças fundidas de 1 até 75 kg. Estas unidades utilizam um Sistema de transporte vibratório para desagregação da areia de moldação após a fundição estar realizada. Existem também 3 unidades de projeção de grenalha de aço para limpeza geral superficial (6GN, 24GN e 32GN), assim como 6 linhas de retificação e de acabamento superficial com ações mecânicas.



Figura 8. Linha de produção semiautomática Hunter (C&H, 2015)

Existem 4 laboratórios com equipamentos para controlo de qualidade das areias, agregantes e metalurgia onde são realizados diversos testes para controlo técnico de qualidade tais como a inspeção visual e dimensional, testes de dureza, penetração, metalurgia, ultrassons entre outros.

Ao nível da conceção e simulação de comportamento dos produtos é utilizado o software de simulação MAGMASoft 5.2 com MAGMAiron e MAGMAstress. Este software, permite a realização de testes e simulações para não só para a otimização do projeto e concepção mas também com a finalidade da melhoria do processo analisando o comportamento do metal vazado. Desta forma, foi possível a realização de simulações visando a otimização sem impor custos financeiros derivados dos ensaios experimentais.

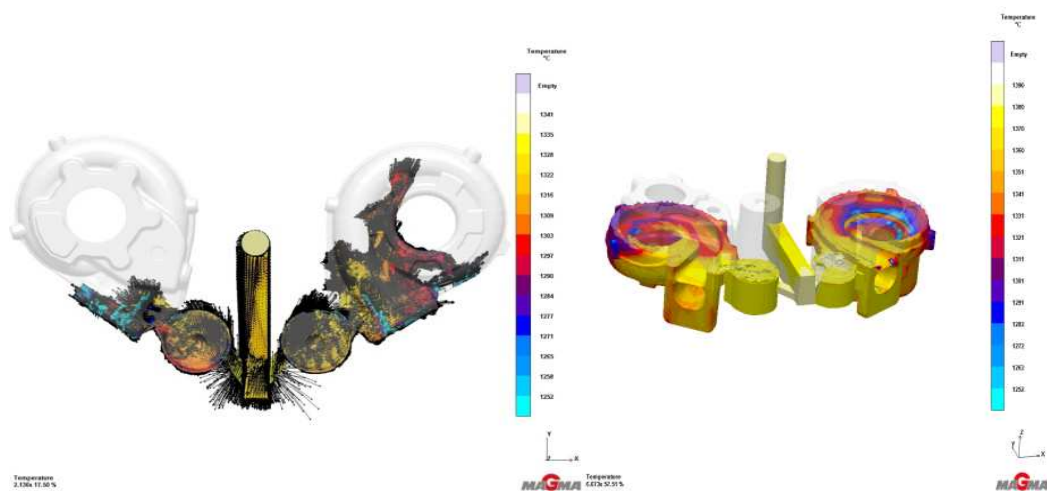


Figura 9. Software para análise de tensões e otimização de sistemas de alimentação da peça (C&H, 2015)

4.3 Os consumos associados ao estado actual

Foi realizado o levantamento dos consumos de energia elétrica da empresa para o mês de setembro, junto do fornecedor.

O fornecedor direto de energia elétrica à unidade, permite o acesso em tempo real à sua base de dados para que seja possível descarregar os dados relativos ao consumo de energia elétrica, numa escala de intervalos horária desejada e com definição da potência consumida (anexo 2) onde foram identificados os picos de maior consumo de forma a ser possível representar o maior custo e identificar pontos alvo a serem focados para potencial redução na sua utilização (anexo 2).

É possível verificar no perfil de consumos diário, que entre os períodos compreendidos entre as 05h00 até as 08h30 e entre as 10h00 até as 12h00, situam-se os maiores consumos detetados. Alguns consumos após as 13h00 são verificados mas não são diários. Representam alguns dias com produção em atraso, realizada além da hora de fim de turno normal (14h00) o que apresenta custos acrescidos à organização o desenvolvimento destas horas extraordinárias de produção.

O planeamento da produção é feito segundo a ordem de entrega de produtos aos clientes, refletindo a utilização atual dos fornos com carga inferior à máxima, a utilização dos mesmos fora das horas laborais estipuladas além do funcionamento em simultâneo dos 3 fornos devido às diferentes constituições químicas necessárias a serem materializadas no metal para fundir e vazar.

Foi traçado o perfil de consumos diário de energia elétrica conforme o gráfico a seguir representado.

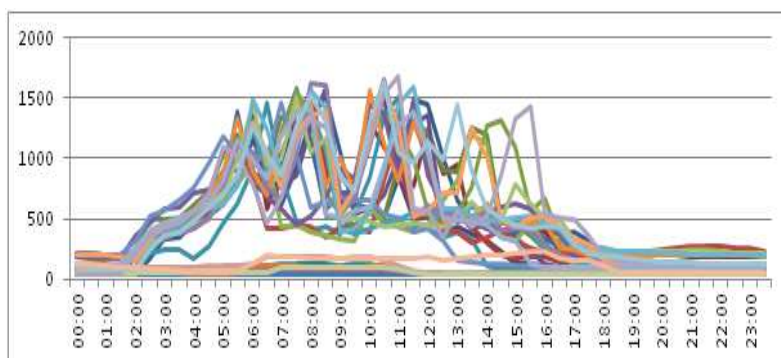


Figura 10. Perfil da potência horária consumida ao longo do mês de Setembro (C&H, 2015).

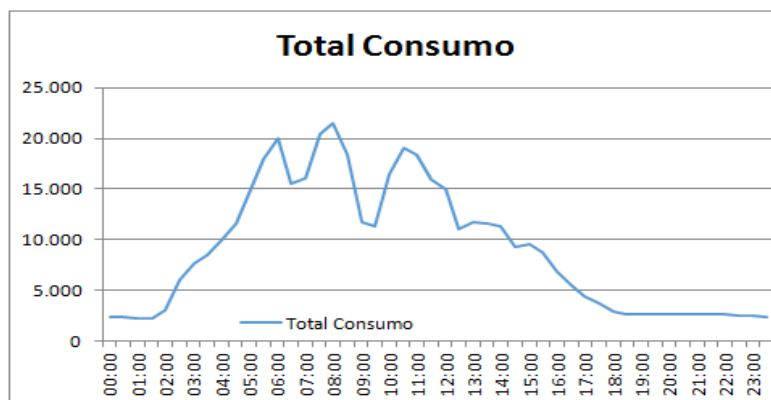


Figura 11. Perfil da potência horária durante o mês de Stembro (C&H, 2015).

A figura anterior representa o perfil horário total de consumo durante o mês.

Verifica-se que os fornos são carregados de metal para fundir a partir da 01h00, sendo depois ligados para aquecimento e consequente fusão do metal. O metal encontra-se pronto a ser vazado pelas 06h00 mas fica em espera devido a restrições na produção, já que o turno inicia-se pelas 06h00 e as moldações em areia verde obrigam a que sejam realizadas no próprio dia. Isto acontece devido a restrições quanto ao nível de humidade e compacticidade da moldação. É feito depois um reaquecimento e ajuste químico ao metal dando-se prioridade inicial ao metal base ser o primeiro a ser vazado para que seja possível que a segunda carga possa receber adições químicas para alteração de constituição metalográfica. Pelas 08h00, a produção já se encontra em condições de vaziar o metal nas moldações de areia verde feitas.

Após o vazamento, recarregam-se os fornos com a segunda carga de metal, dando origem ao vazamento consequente nas segundas moldações produzidas que ocorrem pelas 11h00.

Algumas fusões isoladas e vazamentos perto das 13h00 são realizadas para ajuste de quantidade de fundidos em falta devido a defeitos detetados nos mesmos em produções anteriores, sendo necessário o respetivo acerto para as entregas necessárias.

As tarifas de custo por kWh praticado pelo fornecedor de energia elétrica durante o regime horário diário, são expressas em Libras (£) e podem ser verificadas na figura seguinte.

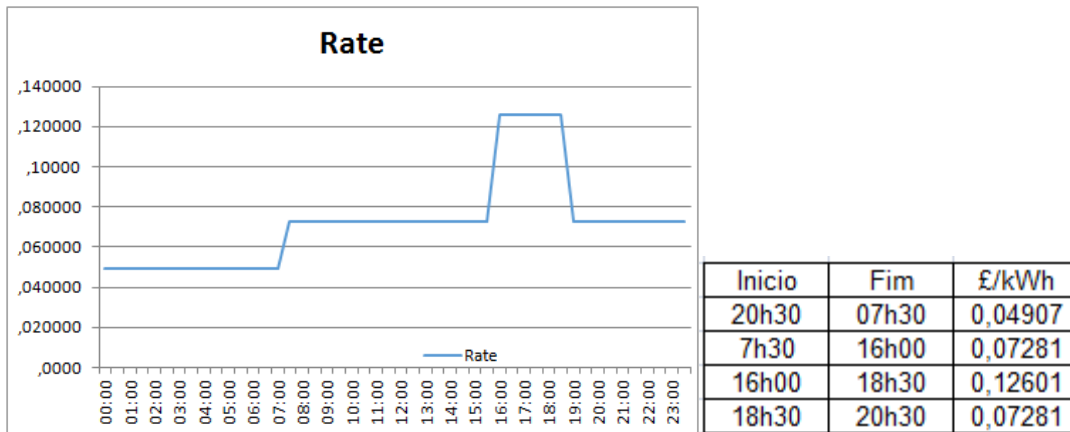


Figura 12. Tarifas aplicadas durante as horas de produção (C&H, 2015).

Foi possível representar o custo, comportando já a adição legal da inclusão dos impostos e custos devidos tais como a Potência Reativa, Custo Renováveis, o custo de fornecimento e a taxa *Climate Change Levy*. O custo total de energia eléctrica registado e consumida para o mês de setembro foi de £ 46.512,93.

O custo horário de consumo mensal de energia eléctrica consumida no mês de setembro pode ser visualizado na figura seguinte.

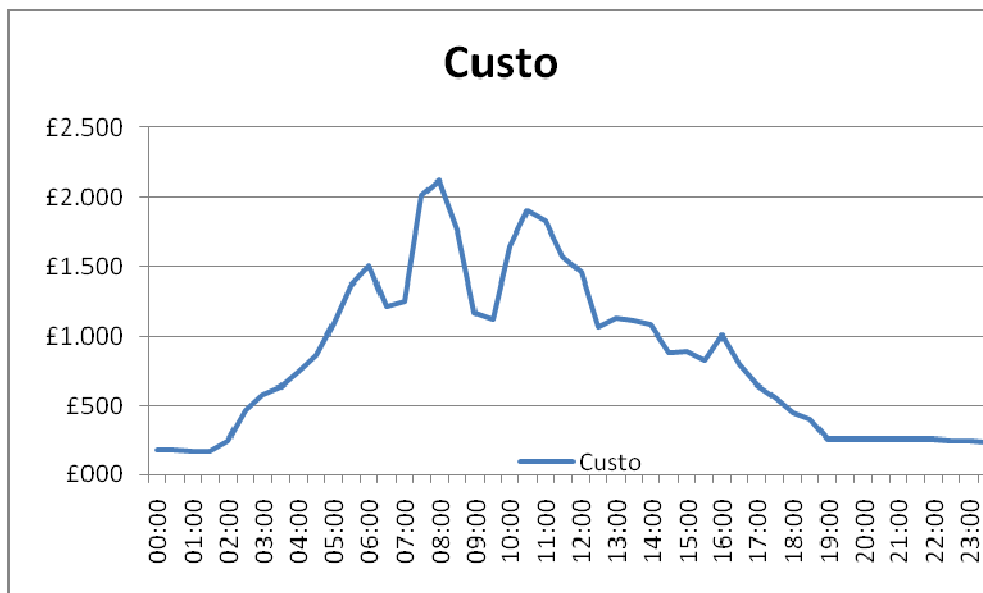


Figura 13. Gráfico de custo total horário para o mês de Setembro (C&H, 2015).

4.4 Princípios comuns de projeto

Apesar de equacionada a monitorização independente da iluminação, equipamentos produtivos e equipamentos associados à manutenção das condições das instalações, não foi possível a instalação de contadores de energia devido às limitações económicas impostas ao projeto pela administração.

Para que fosse possível caracterizar as atividades de melhoria contínua envolvidas na reorganização da produção, como exemplo, foi selecionado um produto, caracterizado o seu estado atual de produção, a otimização do seu estado futuro e comparado o seu resultado futuro com o seu estado atual para avaliação das melhorias obtidas.

O projeto de melhoria contínua foi submetido às seguintes fases:

- Identificação do problema,
- Recolha de dados,
- Descrição do estado atual dos processos e procedimentos,
- Criação e organização de ideias e estratégias para melhoria do processo,
- Obtenção de consensos entre os diferentes elementos membros do projeto,
- Criação e implementação do estado futuro,
- Avaliação e monitorização dos resultados.

4.5 O produto exemplo

Foi selecionado para o estudo e comparação do modelo, um produto projetado para o maior volume de produção anual da empresa. Desta forma pretendeu-se obter o impacto que a reorganização da produção e melhoria no processo de fabrico poderia ter no perfil de redução de custo operacional da empresa e respetiva melhoria na eficiência energética da empresa.

O produto selecionado representa a estrutura exterior de fundição que comporta o sistema turbo compressor de um determinado veículo automóvel.



Figura 14. O produto para avaliação (C&H, 2015).

O estado atual

Procedeu-se à recolha de dados de forma a caracterizar-se o estado atual de produção do produto.

No departamento de produção de machos, o custo em energia elétrica consumida para a produção final de cada macho completo é de £ 0,9052 por unidade. Este custo pode ser dividido em custo de produção por processamento nas máquinas EUROCORE 2525 (£ 0,4952 por unidade) e Eurocore 1812 (£ 0,15) e pelas restantes operações de montagem, secagem e custo alocado pelas instalações de £ 0.26 por unidade.

No departamento de fundidos existem 3 fornos de indução, com capacidade de carga de metal até 5500 kg. O consumo associado ao forno é de 550 kWh para cada 1000 kg de metal. O metal leva 5 horas para estar no ponto de vazamento em condições de aquecimento económico se o forno iniciar no estado “frio”, ou 3 horas se é uma segunda carga com o forno no estado “quente”. Em casos de necessidade, é possível fundir 1000 kg de metal em 30 min aplicando uma potência de 1100 kWh ou fundir 3000 kg em apenas uma hora aplicando 2000 kWh.

$$\text{Produto}_{\text{atual}} = 13,3 \text{ kg}$$

$$\text{Sistema Alimentação}_{\text{atual}} = 12,2 \text{ kg}$$

$$\text{Massa metal vazado}_{\text{atual}} = 25,5 \text{ kg}$$

$$\text{Consumo horário para cada } 25,5 \text{ kg} = 14 \text{ kWh}$$

Considerando um período de 1ª carga de 5 horas de fundição das 02h00 até as 07h00 com um custo de £ 0,04907 por kWh, o custo por unidade atual de 25,5 kg de massa é de £ 3,4349.

Considerando um período de 2ª carga de 3 horas de fundição das 07h30 até as 16h00 com um custo de £ 0,07281 por kWh, o custo por unidade atual de 25,5 kg de massa é de £ 3,058.

Na zona de processamento das moldações, o custo de energia elétrica associada à produção das moldações no equipamento Hunter é de £ 0,29 por fundido.

No departamento de acabamento mecânico, o custo de energia elétrica associado às operações de acabamento é de £ 0,57.

O custo total de consumo de energia elétrica associada à produção de cada fundido acabado é de £ 5,2 se processado no período da 1ª carga ou de £ 4,8232 se processado no período da 2ª carga.

O Estado Futuro

A redução da massa no sistema de alimentação.

Foram processadas 100 simulações em software para compreender o comportamento do fundido durante os diferentes cenários de redução de material, antes de se proceder à remoção física de material integrante na placa molde.

Após a análise das várias opções de simulação, optou-se pela intervenção direta no sistema de alimentação reduzindo ao mesmo tempo a carga térmica no arrefecimento.

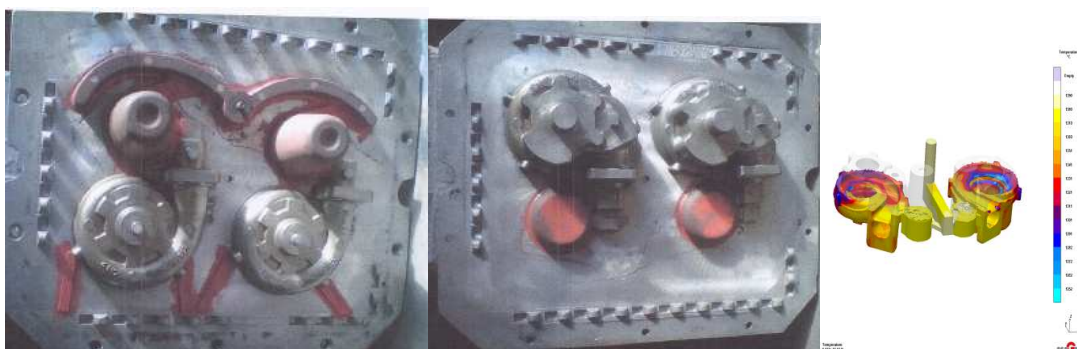


Figura 15. Placa molde do estado atual (C&H, 2015).

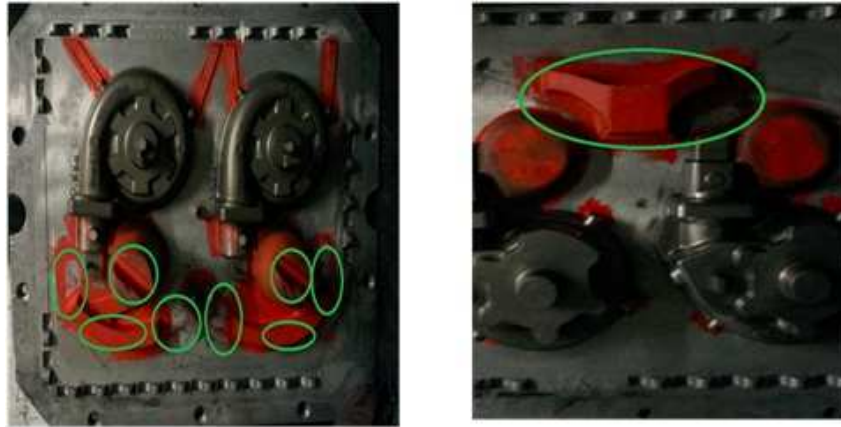


Figura 16. Placa molde do estado futuro (C&H, 2015).

Foram determinados e sinalizados na placa molde, quais os locais no sistema de alimentação, poderiam ser reduzidos no seu volume, para que a conseqüente redução da massa do sistema pudesse originar poupanças ao nível da redução de custos (energéticos e de processamento).

Foram realizados testes para confirmação da inexistência de defeitos nas peças do estado futuro e confirmou-se a redução da massa do sistema de alimentação em 3.7 kg.

$$\text{Produto}_{\text{futuro}} = 13,3 \text{ kg}$$

$$\text{Sistema Alimentação}_{\text{futuro}} = 8,5 \text{ kg}$$

$$\text{Massa metal vazado}_{\text{futuro}} = 21,8 \text{ kg}$$

$$\text{Consumo horário para cada } 21,8 \text{ kg} = 11,99 \text{ kWh}$$

Considerando um período de 1ª carga de 5 horas de fundição das 02h00 até as 07h00 com um custo de £ 0,04907 por kWh, o custo por unidade atual de 21,8 kg de massa é de £ 2,9417.

Considerando um período de 2ª carga de 3 horas de fundição das 07h30 até as 16h00 com um custo de £ 0,07281 por kWh, o custo por unidade atual de 21,8 kg de massa é de £ 2,6189.

Tabela 1. Avaliação da melhoria imposta pela redução de massa do sistema de alimentação:

Estado	Massa	Consumo	1ª Carga	2ª Carga
Atual	25,5 kg	14 kWh	£ 5,2000	£ 4,8232
Futuro	21,8 kg	11,99 kWh	£2,9417	£2,6189
Melhoria	14,5 %	14,36 %	43,4 %	45,70 %

4.6 A reorganização da produção

A produção é organizada por data de entrega dos produtos a serem entregues aos clientes, com um tempo de ciclo de produção até 4 semanas.

A empresa não faz conceção de produto. Fabrica produtos apenas segundo as placas moldes alocadas a clientes, já existentes em armazém.

É utilizado um sistema de gestão informática centralizado nas restantes fundições do grupo, onde a inserção das necessidades de produção a serem satisfeitas semanalmente, despoleta um plano semanal de produção da moldação baseado nos números de série de produtos, quantidade (em peso e unidades de produção) e constituição metalográfica a ser produzida para a semana. São impressos dois planos diferenciados. O primeiro com a constituição metalográfica e entregue aos técnicos de metalografia para coordenação do metal, temperatura e componentes de adição nos fornos. O segundo plano com o peso, quantidade e descrição dos produtos a serem produzidos, sendo entregue na unidade de produção de machos, na unidade de produção das moldações, na unidade de processamento mecânico, inspeção final e por fim no despacho onde informa o departamento logístico da disponibilidade para entrega aquando considerado produto acabado.

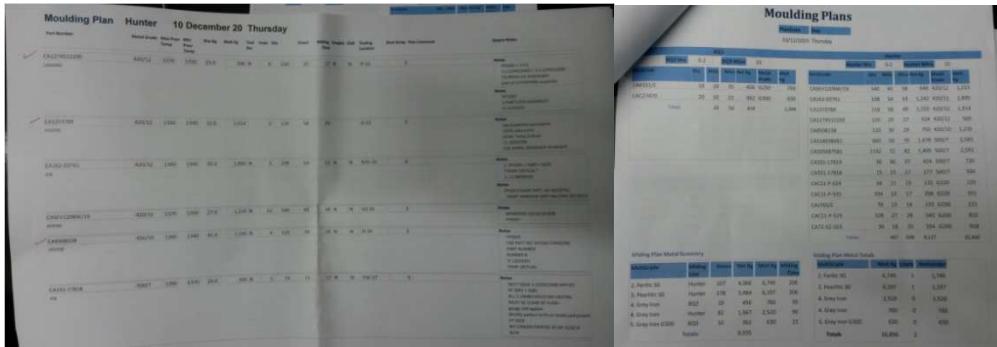


Figura 17. Plano metalográfico e plano operacional produtivo (C&H, 2015).

O plano informático agrega segundo a ordem de entrada para entrega na semana, os produtos por tipo de material e peso, programando a produção ao nível dos fornos a serem utilizados, os machos a serem produzidos e número de moldações a serem produzidas, integrando um desvio de 10% na quantidade total, como fator corretivo de segurança além de uma percentagem adicional alocada aos sistemas de alimentação e suporte ao vazamento e arrefecimento do metal no interior das moldações.

Estado atual

O Plano de produção

O plano de produção referente ao estado atual, organiza a produção de acordo com o plano de entregas. Não está otimizado para uma utilização eficiente dos equipamentos mas de acordo com as necessidades de entrega aos clientes. Isto acontece devido a ser o departamento de logística que estabelece as prioridades na produção e não o próprio departamento da produção.

Verifica-se um conflito de interesses no planeamento que afeta não só a produtividade operacional mas também não permite a redução dos custos daí inerentes.

Estado futuro

A reorganização do plano de produção tendo como prioridade as cargas máximas estabelecidas em cada turno de produção, permitiu otimizar a capacidade produtiva e minimizar os custos operacionais em energia decorrentes do funcionamento. Ao acordar-se e estabelecer-se um tempo de entrega médio, decorrente entre a receção da encomenda interna para o despacho interno do mesmo, permitiu-se criar um sistema de

organização independente que pudesse ter em contas as variáveis necessárias para uma gestão operacional otimizada da produção.

Esta reorganização do planeamento da produção permitiu a redução dos custos associados ao consumo de energia elétrica, conforme pode ser avaliado na seguinte descrição:

A otimização do fluxo da produção no departamento de produção de machos:

O estado atual

No departamento de produção de machos, o custo em energia elétrica consumida pelas duas máquinas de processamento é de £ 0,65. Estes equipamentos processam machos parciais, componentes que precisam de montagem para criação do macho completo. Este custo é dividido entre a máquina EUROCORE 2525 e a máquina Eurocore 1812:

EUROCORE 2525:

- Tempo de preparação inicial = 20 minutos
- Tempo de ciclo = 90 segundos
- Produção = 1 peça a cada 90 segundos
- Custo em energia eléctrica por peça = £ 0,499

EUROCORE 1812:

- Tempo de preparação inicial = 20 minutos
- Tempo de ciclo = 60 segundos
- Produção = 3 peças a cada 90 segundos
- Custo em energia eléctrica por peça = £ 0,150

Estado Futuro

As máquinas operam em sistema semiautomático. Os tempos de ciclo não podem ser alterados já que o tempo para cura das resinas é fixado pelo fornecedor para obtenção das propriedades mecânicas exigidas pelo cliente e de acordo com as normas do setor. Foi estudado e realizado um evento *Kaizen*, composto por *Single Minute Exchange Die* (SMED) acompanhado da técnica 5S para redução dos tempos de preparação e troca de ferramentas. Este evento permitiu a redução da fase de preparação das máquinas em 5 minutos em cada uma.

EUROCORE 2525:

- Tempo de preparação inicial = 20 minutos
- Tempo de ciclo = 90 segundos
- Produção = 1 peça a cada 90 segundos
- Custo em energia elétrica por peça = £ 0,495

EUROCORE 1812:

- Tempo de preparação inicial = 20 minutos
- Tempo de ciclo = 60 segundos
- Produção = 3 peças a cada 90 segundos
- Custo em energia elétrica por peça = £ 0,128

Tabela 2. Avaliação da melhoria imposta pela redução do tempo de preparação *setup*:

Máquinas	2525	1812
Atual	0,499	0,150
Futuro	0,495	0,128
Melhoria	0,8 %	14,67 %

A otimização do fluxo da produção no departamento de moldação:

Este produto utiliza uma máquina semiautomática de moldação sequencial, que opera em linha desde a criação do molde completo em areia até à sua recuperação após passagem por um sistema de vibração e arrefecimento.

Estado atual

Sistema HUNTER:

- Tempo de preparação inicial = 9 minutos
- Tempo de ciclo = 45 segundos
- Produção = 2 peças a cada 45 segundos
- Custo em energia elétrica por peça = £ 0,427
- Peças defeituosas devido a contaminações = 19% (em média)

Estado futuro

Foi realizado um evento *Kaizen* com o mesmo propósito do realizado no departamento de machos, para redução do tempo de preparação *setup* inicial.

Foi realizada uma melhoria da conceção da zona de alimentação da moldação de forma a diminuir a quantidade de fundidos com defeitos existentes resultantes da entrada deficiente do material durante o vazamento do metal fundido. Foi adicionado um sistema de ar comprimido junto ao sistema de vazamento para limpeza das moldações e prevenção da entrada de areia ou poeiras contaminantes. Ao diminuir-se a quantidade de peças defeituosas diminuiu-se também como consequência, a necessidade de consumo de energia elétrica em quantidade para a produção de peças de substituição das peças defeituosas.

Sistema HUNTER:

- Tempo de preparação inicial = 5 minutos
- Tempo de ciclo = 45 segundos
- Produção = 2 peças a cada 45 segundos
- Custo em energia elétrica por peça = £ 0,290
- Peças defeituosas devido a contaminações = 12 % (em média)

Tabela 3. Avaliação da melhoria imposta pela otimização no sistema *HUNTER*:

Estado	Setup	Custo energia	Defeitos	Custo/100
Atual	9 min	0,427	19 %	£ 8,113
Futuro	5 min	0,290	12 %	£ 3,480
Melhoria	44,44 %	32,08 %	36,84 %	57,10 %

A otimização do fluxo da produção no departamento de acabamento:

Este produto utiliza diversas máquinas industriais de consumo elétrico durante a sua fase de acabamento, retificação, tratamento térmico, limpeza e inspeção. Devido à multiplicidade de equipamentos e a não possibilidade de registo de consumos individuais, foi tida a leitura conjunta do consumo geral dos equipamentos em funcionamento e comparada com a leitura após a reorganização do fluxo de produção mantendo os mesmos equipamentos em funcionamento.

Estado atual

Custo por peça acabada = £ 0,712

Estado Futuro

Custo por peça acabada = £ 0,379

Tabela 4. Avaliação da melhoria imposta pela otimização no sistema de acabamento:

Máquinas	Custo energia
Atual	0,712
Futuro	0,379
Melhoria	46,77 %

Value Stream Map do fluxo produtivo

Procedeu-se á aplicação da técnica *Value Stream Map* para ser possível analisar o fluxo do valor acrescentado ao longo de todo o processo produtivo. Desta forma foi possível analisar as atividades envolvidas que contribuam para o desperdício de tempo e valor não acrescentado passível de ser reduzido e ou eliminado.

Foram analisados os tempos de ciclo e movimentação de materiais e pessoas, as distâncias percorridas na movimentação de materiais e pessoas, os movimentos e tempos de espera realizados durante os processos produtivos. Foram calculadas as medidas de análise e avaliação e mapeado o estado atual.

Após análise, cálculo e avaliação das ações a implementar, foi novamente mapeado o estado futuro conforme descrito na figura seguinte.

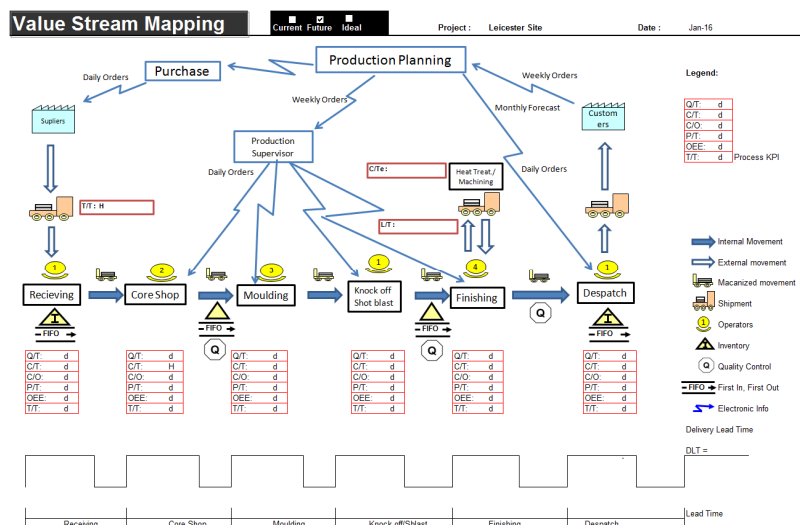


Figura 18. O Value Stream Map do estado futuro (C&H, 2015)



Figura 19. Exemplos de elementos do sistema visual implementado (C&H, 2015)

Foram introduzidas algumas melhorias para gestão visual da informação de forma a diminuir o tempo documental de processamento da informação utilizado no estado atual. Estas melhorias incluíram a reorganização e introdução de meios visuais de gestão como etiquetas de identificação, cartões *Kanban*, organização do posto de trabalho com quadros sombra para rápido acesso às ferramentas necessárias para o desempenho das operações.

A otimização realizada através de diagramas *Spaghetti* das movimentações de materiais e pessoas permitiu a diminuição de tempos e ações que não acrescentassem valor, reposicionando os equipamentos e ordem de movimentos durante o processo produtivo com vista à movimentação de um fluxo único.

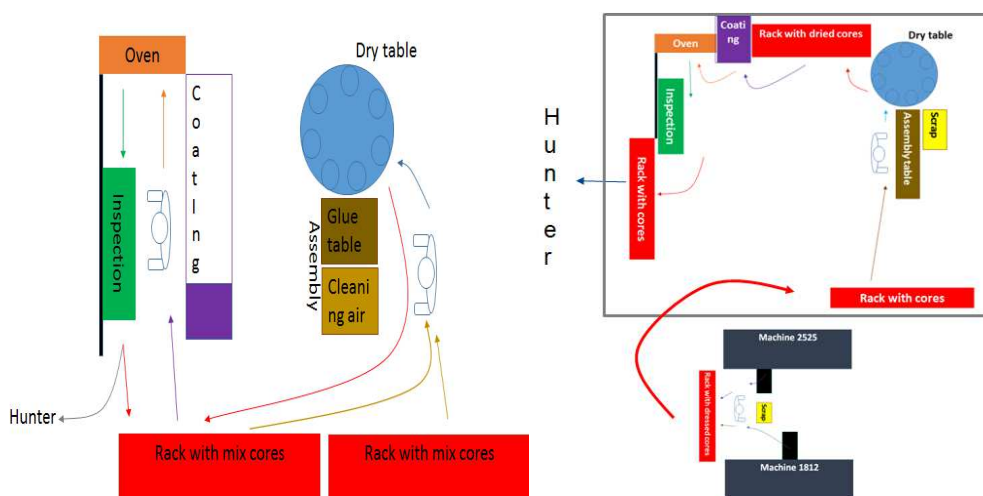


Figura 20 . Exemplo de Otimização do fluxo produtivo na produção de machos (C&H, 2015)

Esta reorganização permitiu a redução do tempo de ciclo de produção, na qual por consequência, permitiu a redução do tempo de utilização das instalações com a correspondente diminuição no consumo de energia elétrica.

4.7 Os consumos associados ao estado futuro

O estado futuro

Foi realizado o levantamento dos consumos para o mês de novembro conforme anexo 2, figura C.

Foram identificados e caracterizados os horários onde se encontrou os consumos mais elevados conforme anexo 2, figura D.

É possível verificar que a produção sendo gerida pela carga total nos fornos em vez da data de entrega dos produtos aos clientes, permite operar os fornos menos dias e menos horas somadas em funcionamento chegando a não ser necessário sequer ligar os fornos em alguns dias.

Foi traçado o perfil de consumos diários, conforme a figura seguinte exemplifica tendo em conta a reorganização da produção realizada.

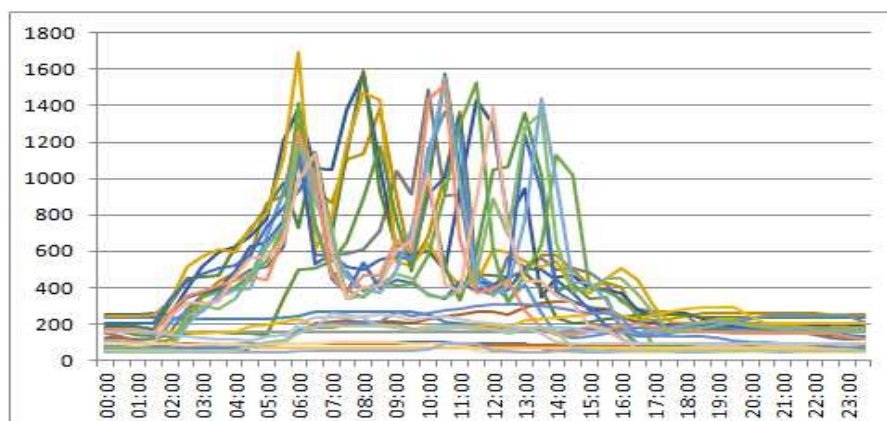


Figura 21 . Perfil de consumos diário (C&H, 2015)

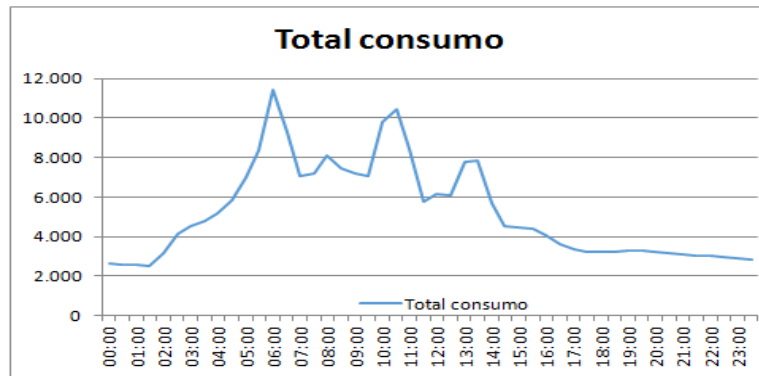


Figura 22. Total consumo horário em kW/h com base mensal (C&H, 2015)

Verifica-se que a agregação pela carga máxima nos fornos, permitiu a não necessidade de utilizar os 3 fornos de forma simultânea, a qual permitiu a redução da energia total consumida. Verifica-se também a redução da utilização da energia elétrica após o fim do horário normal de turno. Esta reorganização permitiu não só a redução no consumo de energia mas também nos custos laborais associados às horas extra.

O perfil de custo na figura seguinte representado, comporta já a adição legal da inclusão dos impostos e custos devidos tais como a Potência Reativa, Custo Renováveis, o custo de fornecimento e o *Climate Change Levy*. O custo total de energia elétrica consumida para o mês de novembro foi de £ 32.911,39.

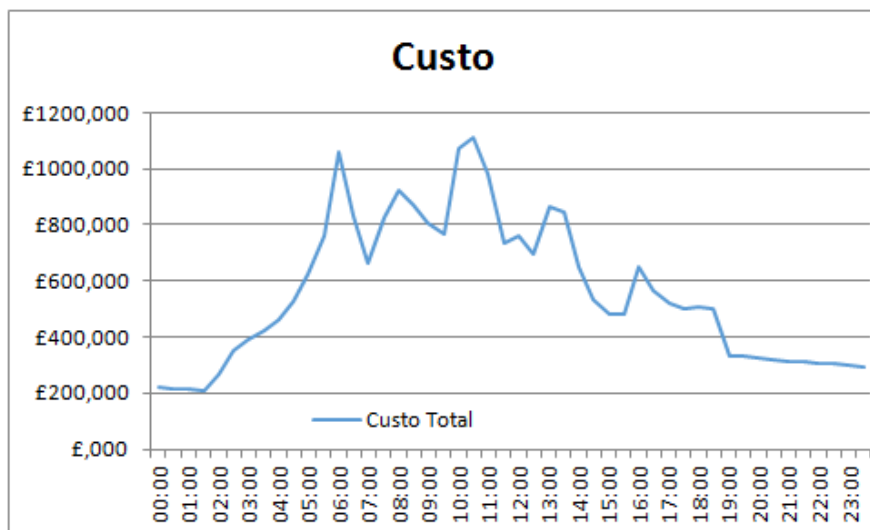


Figura 23. Perfil da Potência horária no esatdo futuro (C&H, 2015)

4.8 Conclusão

Numa empresa de processo, a utilização de equipamentos com consumo de energia elétrica de forma direta ou indireta como os compressores de ar comprimido, está sempre dependente do nível de otimização na organização da sua produção.

Esta reorganização permitiu uma redução percentual com impacto na empresa ao nível dos recursos financeiros disponíveis para investimento futuros, já que não requerem acréscimos ao orçamento anual autorizado pelo Conselho de Administração do grupo mas decorre apenas das ações que permitiram a redução de custos operacionais autorizados.

Tomando como referência o custo da energia elétrica durante o mês de setembro (£ 46512) e comparando com o consumo no mês de Novembro (£ 32911), verificou-se uma redução de 29,24 %, considerando-se este valor como o obtido com esta ação de eficiência energética na fundição.

A figura seguinte reflete o novo estado futuro conseguido com a reorganização completa do fluxo de produção.

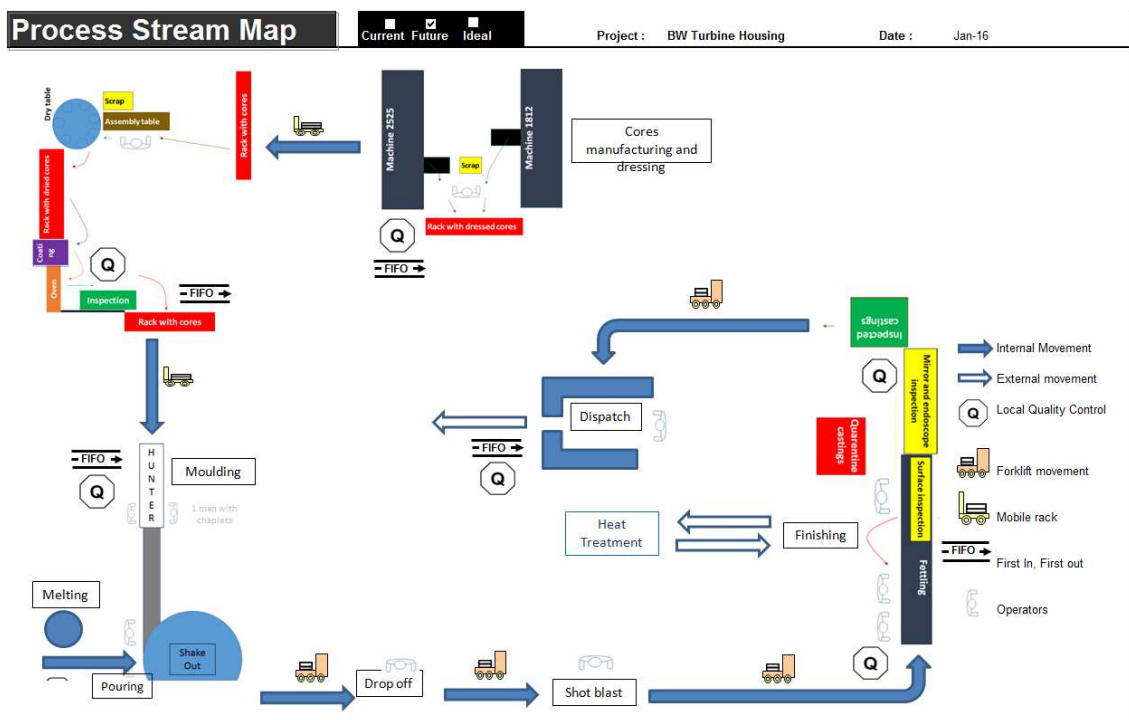


Figura 24. Mapa do fluxo do processo produtivo (C&H, 2015)

4.9 Recomendações futuras

A seguir, apresentam-se algumas recomendações elaboradas para futura implementação e monitorização na empresa considerando a necessidade de uma avaliação para validação o seu impacto. O objetivo destas recomendações visa a contínua redução do consumo energético e conseqüente melhoria da eficiência energética.

Inversão dos baldes de transporte de metal fundido em 180° durante o aquecimento ou tamponamento em esperas: permite a redução da quantidade de gás natural requerido para aquecimento ou necessidade de reaquecimento aumentando a capacidade de retenção do calor.

Utilização do calor de exaustão do forno para preaquecimento do ar de entrada e conseqüente utilização no aquecimento ambiente do departamento de machos para criar um ambiente controlado para estabilização do processo de cura das areias com resina.

Implementação de controladores de velocidade em motores de carga variável como o sistema de exaustão de poeiras ou transporte de areia.

Conversão da produção dos machos por cura fenólica a quente com gás natural para fabrico em caixas de moldação automáticas a frio nas máquinas EUROCORE com consumo de energia elétrica. Além da melhoria quantitativa na eficiência energética, permite a eliminação de certos vapores químicos tóxicos libertados e reduz a exposição a potenciais queimaduras nos operadores dos equipamentos.

Minimização do tempo de exposição do metal fundido em que o forno de indução está com a tampa aberta com a conseqüente perda de calor por radiação. Pode-se extrapolar para um forno de indução de 10 toneladas uma perda de cerca de 11,66 kWh por cada minuto que o forno está com a tampa aberta.

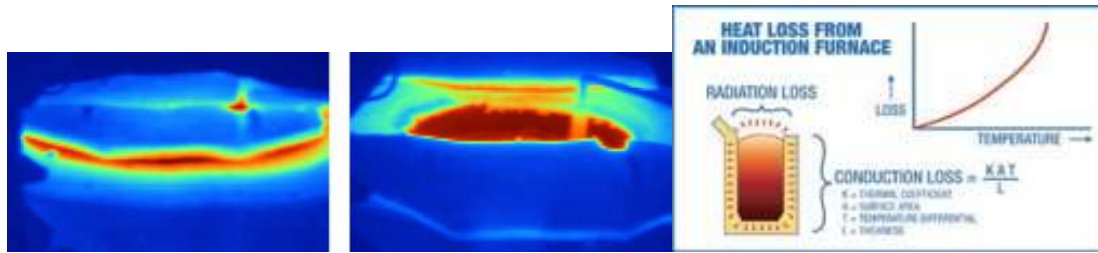


Figura 25. Perda de calor num forno de indução tampa aberta/fechada (AFS, 2015)

Otimização da temperatura do metal a vaziar para a moldação, através do isolamento do balde de transporte, redução do tempo de espera para vazamento e controlo dinâmico da temperatura do metal a vaziar. Pode-se extrapolar uma poupança em 13.15 kWh por tonelada vazada para cada 100 graus de diferença.

Limpeza dos sistemas de alimentação, sucata e restante metal antes da introdução nos fornos para fusão. Contaminantes presentes no forno como a areia remanescente nos sistemas de alimentação reutilizados, consomem energia que é perdida quando removida como escória.

Verificação contínua da pressão do sistema de ar comprimido para deteção de potenciais fugas ou perdas súbitas de pressão, manutenção da eficácia das ferramentas e consequente diminuição do tempo de trabalho ou funcionamento do motor para carregar os depósitos à pressão de utilização de forma a manter a pressão necessária.

A implementação de contadores de energia para monitorização e controlo dos consumos nos equipamentos, permite a deteção de funcionamentos indevidos ou necessidades de intervenção da manutenção para repor os valores originais de funcionamento.

Substituição das zonas antigas da iluminação e balastros mecânicos em todas as zonas por sistemas de iluminação mais eficientes, controlo dos harmónicos e correção do fator de potência através de baterias de condensadores.

Controlo durante a manutenção do isolamento refratário do forno, da bobine de indução, calibração dos sistemas de medição da temperatura e dos cabos de alimentação de energia elétrica.

Algumas áreas de armazenamento e operações poderão ser transferidas para minimização do espaço de utilização nos diversos armazéns, de forma a reduzir o

consumo de energia em armazéns com fraca ocupação física, minimizando também o custo com os sistemas de transporte para a distância percorrida como o transporte de materiais, produtos e pessoas.

A continua otimização dos moldes em software para redução da quantidade de material dos sistemas de alimentação a ser vazado nas moldações, permite aumentar a eficiência da quantidade do material a ser fundido diminuindo a percentagem de energia necessária.

A utilização de um sistema informático preditivo para gestão de consumos locais. A instalação de equipamentos de gestão de consumos permite gerir os picos de consumo de carga, monitorizando em rede e em tempo real os consumos de energia eléctrica. Esta monitorização de consumos, permite identificar consumos críticos em alturas de pico, desligando operações não essenciais de forma a diminuir o custo em períodos tarifários mais agravados.

5. Conclusões e considerações finais

Devido à não possibilidade de isolamento dos consumos dos equipamentos elétricos associados ao estudo apresentado, através de contadores de energia elétrica calibrados, a comparação económica da melhoria é forçosamente baseada em estimativas operadas com os recursos e dados disponíveis. Assim, é esperada a associação a uma margem de erro inerente a estudos deste tipo, apesar de uma forte análise com os meios técnicos disponíveis para monitorização dos consumos locais.

A existência de equipamentos elétricos muito antigos nas instalações, permite traçar outras estratégias para redução dos consumos e melhoria da qualidade da energia elétrica existente atualmente nas instalações (substituição de lâmpadas fluorescentes existentes com balastros mecânicos, por exemplo) e a diminuição da produção de energia reativa devido aos equipamentos em uso na produção (implementando sistemas de baterias de condensadores). Existe um potencial continuado de melhoria da eficiência energética a ser iniciado em toda a unidade produtiva de Leicester.

A capacidade de produção de energia térmica devido ao processo inerente de fundição e arrefecimento dos fundidos, permite considerar a possibilidade do seu aproveitamento para aquecimento de águas quentes e sanitárias, produção de vapor para aquecimento centralizado das instalações ou ainda a produção de ar quente para aquecimento das instalações e introdução no forno de tratamento térmico visando a redução do ciclo de aquecimento por energia elétrica.

As razões identificadas para uma baixa eficiência energética na fusão do metal estão associadas à manutenção por períodos consideráveis, em tempo de espera devido a pausas laborais. Isto reflete uma ineficiente programação horária da produção e da utilização de equipamentos elétricos antigos, inapropriados e ineficientes do ponto de vista da eficiência energética.

O consumo de energia numa fundição varia de acordo com a matéria-prima utilizada, o rácio de material vazado comparado com o produto acabado, as variações nos processos utilizados como o tratamento térmico, deficiente aquecimento e isolamento do espaço.

Verifica-se neste tipo de indústria uma falta de consciencialização para a temática da eficiência energética, provocada por uma falta de formação e alerta para este tema.

Evolução e estudos futuros

Como referido anteriormente no corpo da Tese, a gestão do consumo de energia eléctrica deve ser uma prioridade para o aumento imediato no desempenho económico numa fundição. A negociação do fornecimento de energia eléctrica num mercado aberto, deve ser o primeiro passo com imediato ganho económico para o mesmo consumo. Para que isto aconteça, como complemento e continuidade a este trabalho, deve ser realizado um estudo para determinação de forma quantificada e tipificada a necessidade da negociação do contrato de fornecimento em quatro níveis:

- Carga em consumo: kWh consumido em determinados períodos de tempo para uma determinada tarifa em £/ kWh. Desta forma, a tipificação dos períodos de consumo permite a elaboração de tarifas a diferentes preços de forma a se ajustar com a programação da produção em períodos de menor custo energético;

- Necessidade do consumo em de pico carga: o nível máximo da potência utilizada na fundição em kVA ou kW de acordo com os equipamentos eléctricos em funcionamento durante determinados períodos de consumos diminutos (produção diminuída em períodos de férias, encerramento).

- Fator de potência: o cálculo do fator de potência e a sua correção já que os equipamentos são muito antigos. O estudo deverá demonstrar poupanças significativas ao nível do controlo de equipamentos com cargas indutivas como transformadores, balastros, motores entre outros existentes.

De acordo com a Agência Internacional de Energia, é expectável um incremento no aumento da procura no consumo pela energia primária mundial próximo de 1.5% (Jarza, 2011) ao ano. Neste contexto, a necessidade de promover medidas que visem a melhoria da eficiência energética seja ao nível dos sistemas de combustão locais como fornos, caldeiras reutilizando a energia desperdiçada para o ambiente, além de reduzir na proporção direta o combustível ou energia não consumida no processo local, permite também a redução geral das emissões resultantes na produção central de energia eléctrica, especialmente a proveniente das centrais térmicas. Como consequência muitas vezes ignorada, os fatores colaterais como o consumo de matérias-primas, emissões de ruído, vibração ou contaminação do ar e água, devem ser tidos em conta de forma responsável já que são processos físico-químicos que envolvem consumo de energia.

6. Glossário

Calor desperdiçado: calor rejeitado e libertado de um processo a uma temperatura superior à temperatura ambiente do espaço envolvente.

Gestão da energia: estratégia de ajuste e otimização da utilização da energia, utilizando sistemas e processos que visam a redução dos requisitos energéticos por unidade de entrega.

Reorganização da produção: alterações induzidas no planeamento e escalonamento da produção de forma a permitir um aumento da eficiência da utilização da energia necessária ao processo e fluxo produtivo.

Massa do fundido vazado: soma da massa do próprio fundido adicionado à massa do sistema de alimentação.

Ampere (A): Unidade do Sistema internacional de Unidades (SI) que mede a intensidade da corrente elétrica. Também pode ser definido como Coulomb por segundo (C/s).

Volt (V): Unidade de tensão elétrica ou diferença de potencial do Sistema Internacional de Unidades (SI). Pode-se dizer que 1 volt representa uma carga de 1 coulomb que se movimenta entre dois pontos e transmite 1 joule de energia.

Watt (W): Unidade de Potência do Sistema Internacional de Unidades (SI) que é equivalente a 1 Joule/segundo

Eficiência energética: Atividade que procura otimizar o uso das fontes de energia, consiste em usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético.

Eficiência térmica: É a medida da eficácia na troca de calor.

Perdas de calor: Em condições normais, é o ato de um corpo ou espaço ceder calor a um outro corpo ou para o ambiente que esteja numa temperatura mais baixa.

Tarifa de energia: Preço da unidade de energia elétrica expressa em função de kWh consumidos e/ou da procura de potência ativa que recai sobre uma unidade consumidora.

7. Referências Documentais

- [1] Alena, P. et al (2013): Quality control in foundry – analysis of casting defects, Technical university in Košice, Faculty of Metallurgy, Košice, Slovakia
- [2] Arasu M., Rogers JL *Energy consumption studies in cast iron foundries*, Transactions of 57th Indian Foundry Congress, Kolkata, India, 2009
- [3] CIPEC: Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries, Canadian Industry Program for Energy Conservation, Canada, 2003.
- [4] Deloitte: Energy Market and beyond, 2014
- [5] DECC: The Energy Efficiency Strategy: The Energy Efficiency Opportunity in the UK, Department of Energy and Climate Change, UK, 2012
- [6] EEA: Trends and projections in Europe 2014: Tracking progress towards Europe's climate and energy targets for 2020, European Environment Agency, 2014.
- [7] EEPEU: Energy Efficiency trends and policies in the United Kingdom, UK, 2015
- [8] EP: directive 2012/27/eu of the european parliament and of the council of 25 October 2012
- [9] EMMIMA E. M. (2008): Integrated Management system in iron and steel foundry, PhD. Thesis, Technical university in Košice, Faculty of Metallurgy, Košice, Slovakia.
- [10] EU: Directive 2012/27/eu of the european parliament and of the council, 2012
- [11] Gijo, EV. and Scaria, J.: Reducing rejection and rework by application of Six Sigma methodology in manufacturing process. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. 6(1/2):77-90, 2010
- [12] IEA (International Energy Agency), 2009, World energy outlook, executive summary. 2009, <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/>
- [13] Jarza, S.: Importance of energy management in foundries, *Polish Journal of Management Studies*, 2011, vol. 4

- [14] Jezierski, J. (2013): The lean manufacturing tools in polishfoundries, Archives of Metallurgy and Materials, Volume 58, 2013, issue 3
- [15] Joshi A. et al (2014): Investigation And Analysis Of Metal Casting Defects And Defect Reduction By Using Quality Control Tools, International Journal of Mechanical And Production Engineering, ISSN: 2320-2092, Volume- 2, Issue- 4.
- [16] Kaushik, P., Grewal, CS., Singh, BP. e Khanduja, D.: Utilising Six Sigma for energy conservation: a process industry case study. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage. 4(1):18-34, 2008
- [17] Madanhire, I. (2015): Enhancing Maintenance Practices at a Casting Foundry: Case Study, P.W.C.E., Vol II WCE 2015, July 1 - 3, 2015, London, U.K
- [18] MAGMA: Energy and raw material savings in foundries through thorough utilization of simulation
- [19] Mpanza, Z.: Improving Operating Methods in a South African Foundry Company - A Case Study, University of Johannesburg, Gauteng, South Africa, 2014
- [20] Muruganathan, V. et al (2014): Process Planning Through Value Stream Mapping In Foundry, IJRSET, Volume 3, SI 3, Março 2014
- [21] Naveen, B. et al (2013): Productivity Improvement in Manufacturing Industry Using Industrial Engineering Tools, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, ISSN: 2278-1684, PP 11-18.
- [22] NFTN: Practical applications of improving energy efficiency in foundries, National Foundry Technology Network, South Africa, 2012.
- [23] Patel C. Reducing casting defects and improving productivity in a small scale foundry: a review, IJARESM, ISSN 2394-1766, India
- [24] SAIC: Energy best practice, guidebook, Science Applications International Corporation, 2006
- [25] Sihn, W. & Pfeffer, M. ,(2013), —A method for a comprehensive value stream evaluation, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.62, pp. 427–430.

- [26] Singh, M. et al (2013): Overall productivity improvement in casting and fastening industry, International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE), Vol. 1, pp. 43-48
- [27] Skov-Hansen S.: Reduced energy consumption for melting in foundries, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark; 2007.
- [28] Stevenson, J., Production/Operations management, 4th Edition, Irwin/McGraw-Hill, 1999.
- [29] Singh, M. (2015): Overall Productivity Improvement in Casting Industry by Using Various Industrial Engineering Techniques International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 4, Issue 1, January 2015
- [30] Suna, D. & Haas, R: Analysis of energy saving obligations in european implementing countries. Institute of Energy Systems and Electrical Drives Energy Economics Group, Vienna University of Technology, Austria, 2014
- [31] Robison, S: Effective Energy Management, American Foundry Society – EHS Conference Aug 23-25, 2010 – Nashville TN
- [32] Tabanlı, R. M. and Ertay, T.,(2013), — Value stream mapping and benefit – cost analysis application for value visibility of a pilot project on RFID investment integrated to a manual production control system — a case study, Int . J. Adv Manuf Technol , Vol.66, pp. 987– 1002.
- [33] Tiedje, N.: Resource savings by optimising process conditions in foundries, Department of Manufacturing Engineering and Management Technical University of Denmark, 68th World Foundry Congress, 2008.
- [34] Yuanyuan, L. et al: Energy conservation and emissions reduction strategies in foundry industry, The 69th WFC paper, Vol-7(no-4)2010.
- [35] Vivekanand S., et al (2014): Efficiency improvement of a plant layout, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJAERS), Vol. 3(4), pp. 11203-11209

[36] Wadha, R. (2014): Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World, Volume 439 of the series IFIP, pp 154-161

[37] Wojtynek, L. (2009): Process management in foundries, Archives of Foundry Engineering, ISSN (1897-3310) Volume 9 Issue 3/2009

8. Anexos

Anexo 1.a. Medidas a aplicar aos edificios domésticos no Reino Unido

Code	Title	Status	Type	Semi-quantitative Impact
HOU-UK7	Energy Saving Trust	Ongoing	Financial, Information/ Education	Medium
HOU-UK13	EU-related: Energy Labelling of Household Appliances (Directive 92/75/EC) - Product policy and Market Transformation Programme	Ongoing	Legislative/ Normative	High
HOU-UK4	Home Energy Conservation Act 1995 and Energy Conservation Act 1996	Ongoing	Co-operative Measures	Low
HOU-UK3	Reduction in VAT rate for energy saving materials	Ongoing	Fiscal/ Tariffs	Medium
HOU-UK5	Warm Front and Fuel Poverty Programmes	Completed	Financial	Medium
HOU-UK31	Decent Homes Standard - a minimum standard that triggers action to improve social housing	Ongoing	Financial	Low
HOU-UK19	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Building Regulations 2006	Ongoing	Legislative/ Normative	High
HOU-UK21	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Energy Performance Certificates	Ongoing	Legislative/ Informative	Medium
HOU-UK22	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Code for Sustainable Homes	Ongoing	Legislative/ Informative, Legislative/ Normative	Low
HOU-UK23	Smart Metering and Billing	Ongoing	Information/ Education, Legislative/ Normative	High
HOU-UK24	Act CO2 Campaign	Completed	Information/ Education	Low
HOU-UK26	Stamp Duty - No stamp duty on zero carbon homes	Completed	Financial	Low
HOU-UK30	Zero Carbon Buildings (government targets and Zero Carbon Hub)	Ongoing	Information/ Education	Low
HOU-UK28	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Building Regulations 2010	Ongoing	Legislative/ Normative	High

HOU-UK35	Northern Ireland Sustainable Energy Programme (NISEP)	Ongoing	Financial	Low
HOU-UK34	Home Energy Efficient Programmes (Scotland)	Ongoing	Financial	Low
HOU-UK32	EU-related: Energy Performance of Buildings EPBD Recast (Directive 2010/31/EU) - Building regulations 2014	Ongoing	Legislative/ Normative	Unknown
GEN-UK33	Supplier Obligations - Energy Company Obligation (ECO)	Ongoing	Financial	Medium
GEN-UK29	Supplier Obligations - Community Energy Savings Programme (CESP)	Completed	Financial	Medium
GEN-UK20	Supplier Obligations – Carbon Emissions Reduction Target (CERT)	Completed	Financial	High
GEN-UK11	Green Deal	Ongoing	Financial Measures, Market-based Instruments	Low

Anexo 1.b. Medidas a aplicar aos edifícios industriais no Reino Unido

Code	Title	Status	Type	Semi-quantitative Impact
TER-UK7	Energy Saving Trust	Ongoing	Financial, Information/ Education/ Training	Low
TER-UK2	Carbon Trust programmes	Completed	Financial, Information/ Education/ Training	Medium
TER-UK5	EU-related: Community framework for the taxation of energy products and electricity (Directive 2003/96/EC) - Climate Change Levy	Ongoing	Cross-cutting with sector-specific characteristics	High
TER-UK11	Enhanced Capital Allowance Scheme	Ongoing	Fiscal/Tariffs	Medium
TER-UK22	Public sector procurement standards	Ongoing	Unknown	Low
TER-UK21	Building Schools for the Future	Ongoing	Information/ Education/ Training	Low
TER-UK1	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Building Regulations 2006	Ongoing	Legislative/Normative	High
TER-UK18	Public Sector financing through Salix	Ongoing	Financial	Low
TER-UK19	Greening Government Commitments	Ongoing	Co-operative Measures, Information/ Education/ Training, Legislative/Informative	Low
TER-UK20	Sustainable Schools Action Plan	Ongoing	Information/ Education/ Training	Low
TER-UK14	Smart metering and Billing for SMEs	Ongoing	Information/ Education/ Training	High
TER-UK15	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Energy Performance Certificates	Ongoing	Legislative/Informative	High
TER-UK12	CRC Energy Efficiency Scheme (CRC)	Ongoing	Cross-cutting with sector-specific characteristics, Legislative/Informative	High
TER-UK17	EU-related: Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Building Regulations 2010	Ongoing	Legislative/Normative	High
TER-UK23	EU-related: Energy Performance of Buildings EPBD Recast (Directive 2010/31/EU) - Building Regulations 2014	Unknown	Legislative/Normative	High

Anexo 1.c. Medidas a aplicar ao setor dos transportes no Reino Unido

Code	Title	Status	Type	Semi-quantitative Impact
TRA-UK26	Speed Limits and Active Traffic Management	Ongoing	Legislative/ Normative	Low
TRA-UK13	Freight Facilities Grant (closed 2011)	Completed	Infrastructure	Low
TRA-UK10	EU-related: Promotion of Biofuels or other Renewable Fuels for Transport (Directive 2003/30/EC) - Fuel Duty Levels	Ongoing	Fiscal	Medium
TRA-UK2	Energy Saving Trust – Transport Initiatives	Ongoing	Financial, Information/ Education/Training	Low
TRA-UK29	National supporting fiscal measures for the EU voluntary agreements for car CO2	Ongoing	Co-operative Measures , Fiscal	High
TRA-UK8	EU-related: Fiscal Measures to Promote Car Fuel Efficiency - Graduated Vehicle Excise Duty	Ongoing	Fiscal	Medium
TRA-UK9	EU-related: Fiscal Measures to Promote Car Fuel Efficiency - Company Car Taxation	Ongoing	Fiscal	Medium
TRA-UK19	Low Carbon Vehicle Partnership	Ongoing	Co-operative Measures	Low
TRA-UK31	Low carbon buses & SAFED bus driver training	Completed	Financial, Information/ Education/ Training	Low
TRA-UK17	Smarter choices	Completed	Information/ Education/ Training	Low
TRA-UK27	EU-related: Passenger Car Labelling on fuel economy rating (Directive 1999/94/EC) - UK Fuel Economy Labels for new and used cars	Ongoing	Legislative/ Informative	Low
TRA-UK28	EU-related: Speed limitation devices for certain categories of motor vehicles (Directive 2002/85/EC) - UK28_Speed limiter for Goods Vehicles and Buses	Ongoing	Legislative/ Normative	Low
TRA-UK25	Act on CO2 (Transport) Campaign and Eco Driving	Completed	Information/ Education/ Training	Low
TRA-UK16	EU-related: Promotion of Biofuels or other Renewable Fuels for Transport (Directive 2003/30/EC) - UK16_Renewable Transport Fuels Obligation	Ongoing	Legislative/ Normative	Medium
TRA-UK20	Transport Innovation Fund	Completed	Infrastructure	Low
TRA-UK32	Plug-In Car Grant	Ongoing	Financial	Unknown

Anexo 1.d. Medidas a aplicar ao setor da indústria no Reino Unido

Code	Title	Status	Type	Semi-quantitative Impact
IND-UK7	EU-related: Integrated Pollution Prevention and Control IPPC (Directive 2008/1/EC) - Integrated Pollution Prevention and Control (IPCC)	Ongoing	Legislative/ Normative	Medium
IND-UK5	The Enhanced Capital Allowance Scheme	Ongoing	Financial, Fiscal/Tariffs	Medium
IND-UK6	Climate Change Agreements	Ongoing	Co-operative Measures, Fiscal/Tariffs	High
IND-UK8	Carbon Trust programmes	Ongoing	Financial, Information/ Education/ Training	High
IND-UK16	EU-related: Community framework for the taxation of energy products and electricity (Directive 2003/96/EC) - Climate Change Levy	Ongoing	Cross-cutting with sector-specific characteristics	High
IND-UK17	EU-related: Combined Heat Power (Cogeneration) (Directive 2004/8/EC) - Combined Heat and Power (CHP)	Ongoing	Fiscal/Tariffs, Information/ Education/ Training	Low
IND-UK11	EU-related: EU Emission Trading Scheme (2003/87/EC) - EU Emission Trading Scheme (ETS)	Ongoing	New Market-based Instruments	High

Anexo 3. Planos de produção

Time	Monday		Tuesday		Wednesday		Thursday		Friday		
6:00 AM	1815 CT = 60 sec Qty box = 3 Time batch = 6000 sec Batch = 120	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 173	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 10152 sec Batch = 148	Coating + Oven Coating CT CT = 45 sec (coating) Oven CT CT = 120 sec (Oven) Qty box = 18 parts batch Time batch = 12000 sec Batch = 148		Melting Barber in cold CT = 1000 hightour Qty box = 500 kg Time batch = 18000 sec Batch = 227 parts					
8:40 AM	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 72	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 73				Molding CT = 40 sec Qty = 2 Time batch = 5000 sec Batch = 120 (127+12)		Pouring CT = 50 sec Qty ladle = 10 x 500 kg Time batch = 6300 sec Batch = 227 parts			
10:30 AM	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 92	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 100		Coating + Oven CT = 35 sec Qty box = 18 parts batch Time batch = 6000 sec Batch = 132	Core Inspection CT = 35 sec Qty box = 1 Time batch = 3500 sec Batch = 257		Melting CT = 1000 hightour Qty box = 500 kg Time batch = 18000 sec Batch = 113 parts		Shot blast CT = 1200 = 120 sec Qty box = 10 parts batch Time batch = 6400 sec Batch = 120	Fetting Line 1 CT = 140 sec Qty = 1 Time batch = 12000 sec Batch = 94	Fetting Line 2 CT = 140 sec Qty = 1 Time batch = 12000 sec Batch = 94
12:30 PM	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 97	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 100		Core Inspection CT = 35 sec Qty box = 1 Time batch = 3500 sec Batch = 73	Molding CT = 40 sec Qty = 2 Time batch = 5000 sec Batch = 85		Pouring CT = 50 sec Qty ladle = 10 x 500 kg Time batch = 6300 sec Batch = 103 parts		Core Inspection CT = 16 sec Qty box = 1 Time batch = 6400 sec Batch = 330	Fetting Line 1 CT = 140 sec Qty = 1 Time batch = 1800 sec Batch = 14	Core Inspection CT = 90 sec Qty box = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 100
14:30 PM	Break Time 300 parts Obs: 10 % plus 300 cores batch planned	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 2160 sec Batch = 24								Core Inspection CT = 90 sec Qty box = 1 Time batch = 2160 sec Batch = 24	Core Inspection CT = 90 sec Qty box = 1 Time batch = 2160 sec Batch = 24

a) Plano de escalonamento da produção futuro para 300 unidades (C&H, 2015).

Time	Monday		Tuesday		Wednesday		Thursday		Friday		
6:00 AM	1815 CT = 60 sec Qty box = 3 Time batch = 6000 sec Batch = 120	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 148	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 10152 sec Batch = 148	Coating + Oven Coating CT CT = 45 sec (coating) Oven CT CT = 120 sec (Oven) Qty box = 18 parts batch Time batch = 12000 sec Batch = 148		Melting Barber in cold CT = 1000 hightour Qty box = 500 kg Time batch = 18000 sec Batch = 227 parts					
8:40 AM	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 102	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 148				Molding CT = 40 sec Qty = 2 Time batch = 5000 sec Batch = 120 (127+12)		Pouring CT = 50 sec Qty ladle = 10 x 500 kg Time batch = 6300 sec Batch = 227 parts			
10:30 AM	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 105	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 148		Coating + Oven CT = 35 sec Qty box = 18 parts batch Time batch = 6000 sec Batch = 140	Core Inspection CT = 35 sec Qty box = 1 Time batch = 3500 sec Batch = 150		Melting CT = 1000 hightour Qty box = 500 kg Time batch = 18000 sec Batch = 127 parts		Shot blast CT = 1200 = 120 sec Qty box = 10 parts batch Time batch = 6720 sec Batch = 140	Core Inspection CT = 16 sec Qty box = 1 Time batch = 6400 sec Batch = 130	Fetting Line 1 CT = 140 sec Qty = 1 Time batch = 12000 sec Batch = 94
12:30 PM	Core Assembly CT = 84 sec Qty = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 107	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 6000 sec Batch = 148		Core Inspection CT = 35 sec Qty box = 1 Time batch = 3500 sec Batch = 143	Core Inspection CT = 35 sec Qty box = 1 Time batch = 3500 sec Batch = 154		Pouring CT = 50 sec Qty ladle = 10 x 500 kg Time batch = 6300 sec Batch = 103 parts		Fetting Line 1 CT = 140 sec Qty = 1 Time batch = 5400 sec Batch = 134	Fetting Line 2 CT = 140 sec Qty = 1 Time batch = 5400 sec Batch = 134	Core Inspection CT = 90 sec Qty box = 1 Time batch = 6000 sec Batch = 100
14:30 PM	Break Time 424 parts (2 Mt load furnace) Obs: Optimal economical batch production	2515 CT = 90 sec Qty box = 1 (1+1) Time batch = 2160 sec Batch = 24								Core Inspection CT = 90 sec Qty box = 1 Time batch = 2160 sec Batch = 24	Core Inspection CT = 90 sec Qty box = 1 Time batch = 2160 sec Batch = 24

b) Plano de escalonamento da produção futuro para 1000 unidades (C&H, 2015).