



## **Estudo energético de uma máquina de injeção de plásticos**

**CÁTIA MANUELA ARAÚJO FERREIRA**

Setembro de 2016

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO**



MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA



Orientação:  
Co-Orientação:





## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, um agradecimento enorme à empresa *Preh* Portugal por me ter recebido durante estes meses. Em particular aos Engenheiros José Mário e Pedro Pinto pela enorme ajuda, paciência e conhecimentos que me transmitiram, no entanto, sem nunca esquecer todas as pessoas que fazem parte desta grande equipa.

Queria agradecer à minha orientadora Engenheira Albina Ribeiro, pela dedicação, paciência e pelo tempo disponibilizado para o desenvolvimento deste projeto.

À minha família e namorado, Sérgio Duarte, por estarem sempre comigo e por nunca me deixarem desistir.



## SUMÁRIO

Este estágio curricular foi desenvolvido na empresa *Preh Portugal*, empresa que comercializa maioritariamente componentes eletrónicos para a indústria automóvel. O objetivo deste trabalho foi o estudo da eficiência energética de uma máquina de injeção, bem como a implementação de medidas, de modo a minimizar os consumos energéticos da empresa.

Assim sendo, inicialmente foi realizado um levantamento energético da secção de injeção da empresa, de maneira a detalhar quais os principais consumidores de energia elétrica neste setor. Seguiu-se um estudo dos consumos atuais das máquinas de injeção piloto, bem como a avaliação da potência térmica perdida pelos equipamentos. Procedeu-se também à escolha dos melhores materiais para isolamento, bem como dos possíveis fornecedores de mantas isolantes feitas por medida. Depois de implementado o isolamento térmico, foi realizado um novo estudo dos consumos energéticos dessa mesma máquina, bem como a verificação da redução da potência térmica. Em paralelo foi realizado um estudo teórico da variação da potência térmica dissipada em função da espessura do isolante.

De modo a avaliar a situação atual da empresa, foram escolhidas duas máquinas piloto para se realizar este estudo (*DEMAG 29* e *ENGEL 26*). Assim sendo, relativamente à potência térmica, na máquina 29 estavam a ser dissipados 662,8 W, no que diz respeito à máquina 26 essas perdas tomaram o valor de 978,1 W. Para valores de consumos médios de energia por parte das resistências térmicas, para a máquina 29 e 26, estes foram de 95,1 e 98,1 kW.h, respetivamente. Após a colocação das mantas isolantes na máquina 29, a potência térmica dissipada passou a ser de 362,6 W, relativamente ao consumo de energia pelas resistências de aquecimento, este reduziu 20,2%.

Com a realização desta dissertação pode-se concluir que a colocação de mantas térmicas isolantes é bastante vantajosa, devido ao facto de reduzir a potência térmica dissipada, bem como a energia elétrica consumida, num valor de, aproximadamente, 530€/anuais.

**Palavras-chave:** Potência térmica dissipada, consumo de energia, isolamento térmico, máquina de injeção.



## ABSTRACT

This internship was developed in Preh Portugal, a company that mainly markets electronic components for the automotive industry. The objective of this work was to study the energy efficiency of an injection machine, as well as the implementation of measures to minimize the energy consumption of the company in general.

An energy survey of the company's injection section was conducted initially, in order to identify the main consumers of electricity in this sector. This was followed by a study of the current energy consumption of the pilot injection machines, and an evaluation of the thermal power lost by the equipment. We then proceeded to choose the best materials for insulation, and the identification of possible suppliers of made to measure insulating blankets. After the thermal insulation had been deployed a new study of the energy consumption for the same machine was performed, while also verifying the reduction in thermal power. At the same time a theoretical study of the variation in the dissipated thermal power, as a function of the thickness of the insulator, was also performed.

In order to assess the current situation of the company, two pilot machines were chosen to carry out this study (*DEMAG 29* and *ENGEL 26*). With regard to thermal power, machine 29 was dissipating 662.8 W, while machine 26 was dissipating a total of 978.1 W. The average energy consumption of the thermistors for machines 29 and 26 were 95.1 and 98.1 kW.h respectively. After putting the insulating blankets onto machine 29, the dissipated thermal power decreased to 362.6 W, with a corresponding decrease of 20.2% in relation to the energy consumption of the heating elements.

With the completion of this work it may be concluded that the installation of insulating thermal blankets is particularly advantageous, due to the fact that the reduction in dissipated thermal power, and corresponding reduction in energy consumption results in an estimated saving of € 530 / year.

**Keywords:** Thermal power dissipation, energy consumption, thermal insulation, injection machine.



# ÍNDICE GERAL

	Página
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Grupo Preh .....	1
1.2. Objetivo do trabalho.....	2
1.3. Organização da dissertação .....	3
<b>2. Fundamentos teóricos.....</b>	<b>5</b>
2.1. Processo de injeção de plásticos.....	5
2.2. Materiais Poliméricos.....	8
2.2.1. PMMA – Polimetilmetacrilato .....	9
2.2.2. PC – policarbonato .....	10
2.3. Transferência de calor em estado estacionário.....	11
2.3.1. Condução .....	11
2.3.2. Convecção.....	12
2.3.3. Radiação.....	14
2.4. Conceitos Básicos de Energia Elétrica .....	15
<b>3. Levantamento Energético .....</b>	<b>19</b>
3.1. Secção da injeção de plásticos.....	19
3.2. Máquina de injeção.....	26
<b>4. Estudo energético das máquinas de injeção .....</b>	<b>29</b>
4.1. Potência térmica dissipada e energia consumida sem isolamento térmico ....	29
4.1.1. Aquisição de dados experimentais.....	29
4.1.2. Resultados e discussão .....	32
4.2. Seleção das mantas de isolamento .....	34
4.3. Potência térmica dissipada e energia consumida com isolamento térmico ....	37
4.3.1. Resultados e discussão .....	37
4.3.2. Energia consumida e respetiva avaliação de custos .....	39

4.4. Variação da potência térmica dissipada em função da espessura do isolante térmico .....	40
<b>5. Conclusão e sugestões para trabalho futuro .....</b>	<b>43</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO A – Exemplos de Cálculo .....</b>	<b>47</b>
ANEXO A1 – Levantamento Energético .....	47
ANEXO A2 – Potência térmica dissipada por convecção .....	47
ANEXO A3 – Potencia térmica dissipada por radiação.....	48
ANEXO A4 – Avaliação dos ganhos energéticos.....	48
<b>ANEXO B – Ensaio relativo à máquina DEMAG 29 – sem isolamento térmico .....</b>	<b>51</b>
ANEXO B1 – Consumo energético global.....	51
ANEXO B2 – Consumo energético das resistências.....	61
ANEXO B3 – Consumo energético do motor .....	69
<b>ANEXO C – Ensaio relativo à máquina ENGEL 26 – sem isolamento térmico .....</b>	<b>79</b>
ANEXO C1 – Consumo energético das resistências .....	79
<b>ANEXO D – Características dos equipamentos .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO E – Características das mantas térmicas isolantes (Jarry).....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO F – Estudo energético após colocação das mantas térmicas isolantes .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO G – Estudo teórico da variação da potência térmica perdida em função da espessura do isolante.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 – Preh Portugal.....	1
Figura 2.1 – Ciclo de moldagem. ....	6
Figura 2.2 – Máquina de injeção e respetivo esquema das unidades funcionais. ....	7
Figura 2.3 – Estrutura química do PMMA. ....	9
Figura 2.4 – Estrutura química do PC. ....	10
Figura 2.5 – Componentes da energia.....	16
Figura 3.1 – Diagrama de carga relativo ao ano de 2015.....	20
Figura 3.2 – Relação entre o número de peças produzidas e a energia consumida por peça, para o ano de 2015. ....	22
Figura 3.3 – Consumo de energia elétrica em função do número de peças produzidas...	23
Figura 3.4 – Fator de potência em função do tempo. ....	25
Figura 4.1 – Fotografia de um cilindro de injeção.....	29
Figura 4.2 – Representação esquemática das secções de um cilindro de injeção. ....	30
Figura 4.3 – Imagem termográfica da máquina <i>ENGEL 26</i> .....	31
Figura 4.4 – Esboço da manta isolante e respetivas dimensões. ....	35
Figura 4.5 – Fotografia de uma manta isolante.....	37
Figura 4.6 – Fotografia do cilindro isolado. ....	39
Figura 4.7 – Representação esquemática do processo de transferência de calor num cilindro isolado. ....	41
Figura 4.8 – Potência térmica dissipada por condução em função de $r_2$ . ....	42
Figura E1 – Características da manta térmica isolante. ....	91
Figura G1 – Variação da capacidade térmica do fluido em função da temperatura.....	101
Figura G2 – Variação da viscosidade do fluido em função da temperatura.....	101
Figura G3 – Variação da condutividade térmica do fluido em função da temperatura...	102
Figura G4 – Variação da difusividade do fluido em função da temperatura. ....	102
Figura G5 – Variação do número de <i>Prandtl</i> em função da temperatura.....	103

Figura G6 – Variação da massa volúmica do fluido em função da temperatura..... 103

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1 – Lista dos equipamentos da injeção de plásticos.....	19
Tabela 3.2 – Produção mensal relativa ao ano de 2015. ....	21
Tabela 3.3 – Máquinas de injeção e respetivos números de unidades de injeção. ....	26
Tabela 3.4 – Características do motor da máquina <i>DEMAG 29</i> . ....	28
Tabela 4.1 – Dimensões das máquinas piloto.....	31
Tabela 4.2 – Perdas térmicas por convecção – sem isolamento térmico. ....	32
Tabela 4.3 – Emissividade e perdas térmicas por radiação – sem isolamento térmico. ...	33
Tabela 4.4 – Potências térmicas totais - sem isolamento.....	33
Tabela 4.5 – Estimativa da redução dos consumos energéticos.....	34
Tabela 4.6 – Comparação dos fornecedores de mantas isolantes.....	36
Tabela 4.7 – Perdas térmicas associadas à máquina 29 – com isolamento térmico. ....	38
Tabela 4.8 – Redução efetiva de energia – com isolamento térmico. ....	39
Tabela A1 – Propriedades do ar. ....	47
Tabela B1 – Consumo global da máquina 29 – ensaio 1. ....	51
Tabela B2 – Consumo global da máquina 29 – ensaio 2. ....	54
Tabela B3 – Consumo global da máquina 29 – ensaio 3. ....	58
Tabela B4 – Resultados dos ensaios globais – <i>DEMAG 29</i> . ....	61
Tabela B5 – Consumo das resistências da máquina 29 – ensaio 1. ....	61
Tabela B6 – Consumo das resistências da máquina 29 – ensaio 2. ....	64
Tabela B7 – Consumo das resistências da máquina 29 – ensaio 3. ....	66
Tabela B8 – Resultados dos ensaios às resistências – <i>DEMAG 29</i> . ....	69
Tabela B9 – Consumo do motor da máquina 29 – ensaio 1.....	70
Tabela B10 – Consumo do motor da máquina 29 – ensaio 2.....	72
Tabela B11 – Consumo do motor da máquina 29 – ensaio 3.....	74
Tabela B12 – Resultados dos ensaios ao motor – <i>DEMAG 29</i> . ....	78
Tabela C1 – Consumo das resistências da máquina 26 – ensaio 1. ....	79

Tabela C2 – Consumo das resistências da máquina 26 – ensaio 2.....	82
Tabela C3 – Consumo das resistências da máquina 26 – ensaio 3.....	85
Tabela C4 – Resultados dos ensaios realizados na máquina <i>ENGEL</i> 26.....	87
Tabela D1 – Especificações da câmara termográfica <i>FLUKE</i> Ti110.....	89
Tabela D2 – Especificações do Medidor de Energia Trifásico – <i>FLUKE</i> 435.....	90
Tabela F1 – Consumo das resistências da máquina 29 com isolamento térmico – ensaio 1.....	93
Tabela F2 – Consumo das resistências da máquina 29 com isolamento térmico – ensaio 2.....	95
Tabela F3 – Consumo das resistências da máquina 29 com isolamento térmico – ensaio 3.....	98
Tabela F4 – Resultados dos ensaios das resistências com isolamento – <i>DEMAG</i> 29...	100
Tabela G1 – Resultados do estudo teórico da espessura do isolamento térmico. ....	104

## NOMENCLATURA

A – área ( $m^2$ )

$A_{lm}$  – área média logarítmica ( $m^2$ )

$c_p$  – calor específico (J/kg.K)

D – diâmetro (m)

E – energia consumida (kW.h)

$E_0$  – consumos fixos (kW.h)

g – aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

h – coeficiente de transferência de calor ( $W/m^2.°C$ )

I – intensidade da corrente (A)

k – condutividade térmica ( $W/m.K$ )

$k_{isol}$  – condutividade térmica do material isolante ( $W/m.K$ )

L – comprimento (m)

Nu – número de *Nusselt*

p – produção

P – Potência ativa (W)

Pr – número de *Prandtl*

Q – Potencia Reativa (W)

q – potência térmica (W)

$q''$  – fluxo de calor ( $W/m^2$ )

$r_1$  – raio do cilindro sem isolamento (m)

$r_2$  – raio do cilindro com isolamento (m)

$R_{conv}$  – Resistência à transferência de calor por convecção (K/W)

$R_{plástico}$  – Resistência à transferência de calor através do material isolante (K/W)

$R_{rad}$  – Resistência à transferência de calor por radiação (K/W)

$Ra_D$  – número de *Rayleigh*

S – Potência aparente (W)

T1 – Temperatura de superfície do cilindro ( $°C$ )

T2 – Temperatura do material isolante ( $°C$ )

T<sub>s</sub> – temperatura da superfície (°C)  
T<sub>viz</sub> – temperatura da vizinhança (°C)  
T<sub>∞</sub> – temperatura do fluido envolvente (°C)  
U – diferença de potencial (V)

## LETRAS GREGAS

$\alpha$  - difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s)  
 $\sigma$  - constante de *Stefan-Boltzmann*: 5,67\*10<sup>-8</sup> (W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)  
 $\varepsilon$  - emissividade do material  
 $\beta$  - coeficiente de expansão térmica do fluido (K<sup>-1</sup>)  
 $\rho$  – massa volúmica do fluido (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\nu$  - viscosidade cinemática do fluido (m<sup>2</sup>/s)  
 $\mu$  – viscosidade dinâmica do fluido (Kg/m.s)  
 $\varphi$  - defasamento entre a tensão e a intensidade da corrente elétrica  
 $\Delta T$  – variação de temperatura (°C)  
 $\Delta r$  – variação do raio (m)

## SIGLAS

CEE – consumo específico de energia  
FT – fator de potência  
IC – intensidade carbónica  
IE – intensidade energética  
PC – policarbonato  
PCI – placas de circuito impresso  
PMMA – polimetilmetacrilato  
TC – controlador de temperatura  
tep – tonelada equivalente de petróleo  
UV – ultravioleta





## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao mercado competitivo, as empresas precisam cada vez mais de inovar e melhorar os seus processos produtivos, bem como os seus produtos finais.

Desta forma, é importante procurar soluções que minimizem os desperdícios gerados durante a conceção do produto final, otimizar processos e, conseqüentemente, racionalizar o consumo energético das empresas.

### 1.1. GRUPO *PREH*

O grupo *Preh* foi fundado na Alemanha em 1919, por *Jakob Preh*. Tudo se inicia com a fabricação de acessórios e peças elétricas numa antiga estalagem com 200 funcionários. Foi com a comercialização de recetores de rádio “*Preh Funk*” que houve um crescimento significativo da empresa.

É em 1988 que a empresa se inicia no campo da eletrónica automóvel, onde se produzem sistemas de controlo de condução, de controlo climático e unidades de controlo eletrónicas [1]. Atualmente, a indústria automóvel é o principal mercado deste grupo, sendo a *BMW* e a *Sony/Ford* os principais clientes.

A *Preh Portugal*, situada na Trofa foi fundada em 1969, sendo a primeira fábrica do grupo de eletromecânica criada fora da Alemanha (figura 1.1).



Figura 1.1 – *Preh Portugal*.

A empresa é constituída por nove departamentos, sendo o processo produtivo dividido em quatro secções:

1. Eletrónica – É nesta secção que se procede à colocação dos componentes eletrónicos em placas de circuito impresso (PCI). Como componentes eletrónicos compreendem-se as bobinas, as resistências, entres outros. Nesta divisão também são realizados testes funcionais às placas, bem como a programação dos microprocessadores.
2. Injeção plástica – Local onde se produzem os elementos plásticos que constituem o produto final, como os botões e o painel frontal dos equipamentos. Também é nesta que se realizam testes visuais e de controlo dimensional.
3. Pintura – Etapa onde os plásticos injetados são pintados e gravados a laser. Também são efetuados testes de qualidade ao produto, como por exemplo, testes de abrasão.
4. Montagem final – É a fase onde se faz a junção dos produtos produzidos nas fases anteriores, obtendo-se assim o produto final, sem dispensar os testes de conformidade ao mesmo [1].

No final do ano de 2015, o grupo *Preh* (Alemanha, Portugal, EUA, México, Romênia e China) contava com 4900 colaboradores [1].

É na secção da injeção de plásticos da *Preh* Portugal onde há maior consumo de energia elétrica. No presente ano e até à data de 15-06-2016, a secção de injeção já consumiu 958367 kW.h de eletricidade, o que corresponde a 20,9% do consumo de energia global da empresa.

## 1.2. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho teve como objetivos a realização de um levantamento energético da secção de injeção, bem como o estudo energético de algumas máquinas de injeção de plásticos, de modo a minimizar os consumos energéticos da empresa.

Com o intuito de melhorar a eficiência energética da *Preh* Portugal, foi realizado um levantamento energético no departamento onde se realizou este estágio curricular, assim como um estudo da potência térmica dissipada por convecção e radiação nas máquinas de injeção e os consumos energéticos das mesmas. Após esses ensaios foram efetuados alguns estudos para saber qual o melhor isolamento a implementar no cilindro das máquinas de injeção para posterior verificação da redução energética.

Atualmente a empresa possui vinte máquinas de injeção de plásticos. Foi realizada a implementação de mantas isolantes numa máquina de menor força de fechamento, mas que funciona continuamente (*DEMAG 29*) e numa máquina com o triplo da força de fechamento (*ENGEL 26*).

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No primeiro capítulo é apresentada a empresa onde decorreu a realização deste estágio, *Preh Portugal*, e são apresentados os objetivos do estudo proposto.

No capítulo dois são apresentados os fundamentos teóricos que serviram de suporte a este projeto de estudo.

O levantamento energético realizado no sector de injeção é apresentado no capítulo três, sendo que aqui são avaliados quais os principais consumidores de energia.

No quarto capítulo é apresentado o estudo energético efetuado às máquinas de injeção, bem como a potência térmica dissipada e energia elétrica consumida pelas mesmas, antes e após a aplicação das mantas térmicas isolantes. Também neste capítulo é apresentada uma avaliação de custos referente à implementação dos isolantes térmicos.

No último e quinto capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, assim como sugestões para trabalho futuro.



## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Um dos processos mais utilizados para o processamento de plásticos é a injeção em moldes. É cada vez mais comum a utilização de materiais processados por injeção em molde, como é o caso das peças automóveis, de brinquedos, baldes e os recipientes para uso doméstico.

Foi em 1872 que surgiram os primeiros relatos da utilização de uma máquina injetora, criada pelos irmãos *Hyatt*, para trabalhar com celuloide. No entanto, apesar do pouco desenvolvimento que existiu nessa área, foi em 1921 que foi projetada, na Alemanha, a primeira máquina moderna para injeção de moldes. Essas máquinas apresentavam alguns entraves, uma vez que o fecho dos moldes era feito manualmente através de uma alavanca pelos operadores. Mais tarde surgiu o acionamento de moldes pneumático, o que constitui um grande avanço no mundo da injeção de plásticos, uma vez que se conseguiam atingir pressões muito mais elevadas [2].

### 2.1. PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

A injeção por moldes é um processo cíclico, em que, para a produção de uma peça, é necessário um conjunto de operações, designado por ciclo de moldagem. Dado o elevado custo (aquisição e manutenção) destes equipamentos, é importante proceder-se à redução energética durante o processo do ciclo de moldagem [3]. Este ciclo encontra-se representado na figura 2.1.

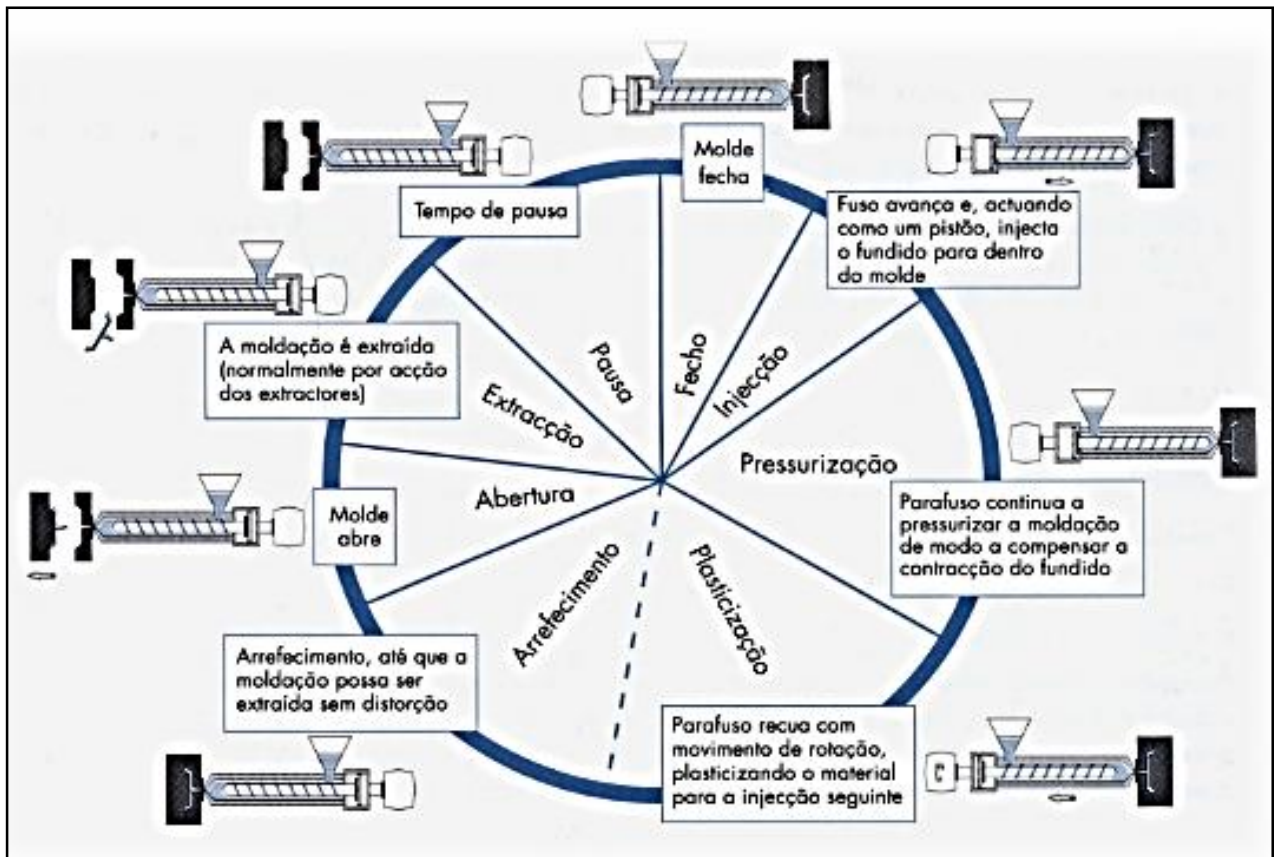


Figura 2.1 – Ciclo de moldagem [3].

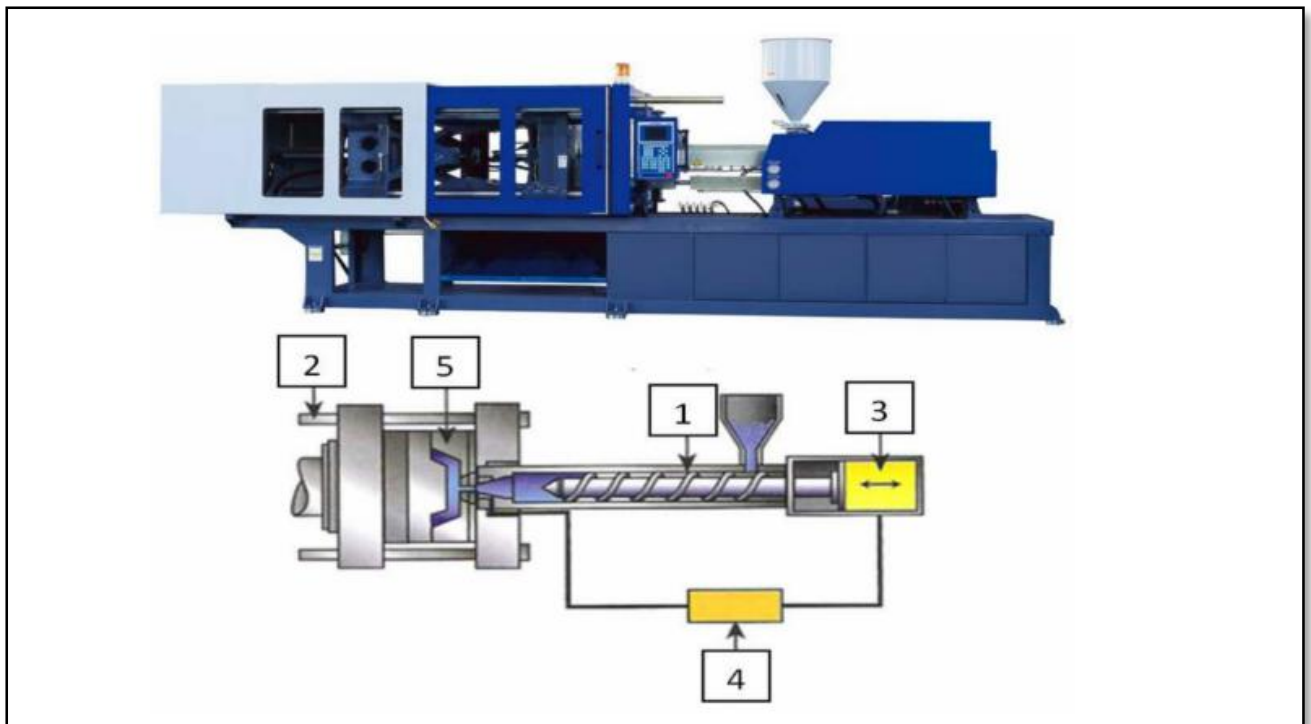
De seguida é apresentado um resumo sucinto das diferentes fases do ciclo de moldagem representado na figura 2.1:

- Durante o processo de fecho do molde de injeção, o fuso empurra, sem rodar, o material fundido para o molde que já se encontra arrefecido. Nesta fase, o ar é expelido por um sistema de fuga de gases;
- Na pressurização, o parafuso continua a fazer pressão sobre o molde, de modo a compensar as contrações do material no interior do mesmo;
- Na fase da plastificação e arrefecimento, uma vez que a peça já se encontra solidificada, o fuso começa a recuar;
- Na fase final, extração da peça, o molde abre e é retirada a peça para posterior arrefecimento. Inicia-se então o novo ciclo, sendo que o doseamento da matéria-prima no cilindro de injeção é um processo contínuo [3].

Durante todo o ciclo é gerado calor devido ao atrito entre a matéria-prima e as paredes do cilindro, provocando assim o aquecimento do mesmo.

É importante referir que o ciclo de moldagem pode ser manual, automático ou semiautomático, dependendo se as fases do processo são efetuadas pelo operador, automaticamente ou de ambas as formas.

Na figura 2.2 encontra-se representado um esquema de uma máquina de injeção e as respetivas unidades funcionais. Apesar de existirem diferentes modelos, essas unidades funcionais são comuns à maioria das máquinas.



**Figura 2.2** – Máquina de injeção e respetivo esquema das unidades funcionais [3].

Seguem-se as funções das unidades funcionais da máquina de injeção:

- Unidade 1 – Unidade de Injeção – Tem como função transportar, aquecer, plastificar e homogeneizar o material plástico desde o local da alimentação (tremonha) até ao bico de injeção, onde aí injeta e compacta o material já fundido. O número de unidades de injeção varia de máquina para máquina;
- Unidade 2 – Unidade de fecho – Tem como função fixar e movimentar o molde. Deve manter o molde fechado durante as fases de injeção e compactação;

- Unidade 3 – Unidade de potência – Tem como função fornecer a energia necessária à máquina de injeção. É importante referir que a energia necessária difere de polímero para polímero, de acordo com a sua temperatura de fusão;
- Unidade 4 – Unidade de controlo – Local onde se controlam e monitorizam as variáveis do processo;
- Unidade 5 – Molde – Definição do produto final. No mínimo é constituído por duas partes que se mantêm fechadas durante os períodos de injeção, compactação e arrefecimento [3].

Tal como referido, na unidade 4 é feito o controlo de algumas variáveis essenciais no processo. Dessas variáveis destacam-se:

Tempo – como o tempo de injeção, tempo de arrefecimento do molde, bem como as durações dos períodos em que o molde se encontra aberto e fechado;

Quantidade – controlo do material necessário para garantir a injeção completa. Normalmente existem controladores de nível que enviam informação caso a quantidade seja inferior à necessária e, nesse caso, a matéria-prima é direcionada desde as estufas à alimentação usando vácuo;

Velocidade – controlo da velocidade de rotação do fuso, bem como da velocidade de injeção;

Pressão – controlo da pressão necessária para a injeção e compactação do molde;

Temperatura – existem várias temperaturas que devem ser controladas durante o processo de injeção, como é o caso da temperatura do bico, do cilindro, do molde e do fundido [3].

Se estes parâmetros não forem corretamente controlados surgem alguns defeitos na moldagem, destacando-se as rebarbas, a deformação das peças, o mau acabamento e as bolhas de ar.

## 2.2. MATERIAIS POLIMÉRICOS

Um polímero é uma macromolécula cuja composição estequiométrica é um múltiplo de outra espécie química. É através de um processo denominado de polimerização que

moléculas simples reagem quimicamente entre si formando cadeias lineares ou tridimensionais – as macromoléculas.

Um plástico é formado por um polímero e por outras substâncias, normalmente aditivos que melhoram a estabilidade do plástico.

De acordo com as mudanças físicas que ocorrem nos materiais, aquando o aquecimento e arrefecimento dos mesmos, os plásticos podem ser classificados como termoendurecíveis ou termoplásticos.

Nos termoendurecíveis, durante o processo de aquecimento, ocorrem reações químicas e, por isso, o processo é irreversível. São essas reações químicas que conferem rigidez, fragilidade e estabilidade ao plástico [4].

Relativamente aos termoplásticos, estes são formados por macromoléculas orgânicas simples. Durante o processo de aquecimento não ocorrem mudanças químicas e, por isso, o processo é reversível. Quando a exposição a elevadas temperaturas é repetida, ocorre envelhecimento térmico dos materiais. Atualmente, cerca de 90% dos plásticos produzidos são termoplásticos [4]. Exemplos destes materiais são: polietileno, polipropileno, poliestireno, entre outros.

A empresa *Preh* Portugal trabalha com alguns polímeros, destacando-se o polimetilmetacrilato (PMMA) e o policarbonato (PC), ambos polímeros termoplásticos.

### 2.2.1. PMMA – POLIMETILMETACRILATO

O polimetacrilato de metila é uma resina acrílica e a sua estrutura química encontra-se representada na figura 2.3.

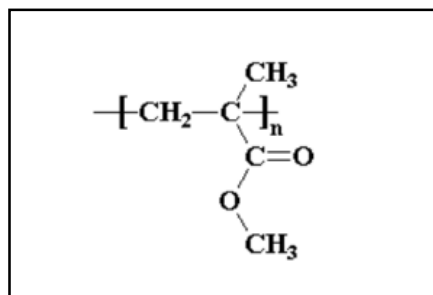


Figura 2.3 – Estrutura química do PMMA [5].

O PMMA é um polímero termoplástico obtido através da polimerização do monómero metilmetacrilato. Devido às suas características de transparência, estética e resistência aos riscos, o PMMA pode ser usado como alternativa ao vidro, sendo por isso conhecido como *acrylic glass* [6].

Além do vidro, este polímero também pode ser usado como alternativa ao PC (que irá ser caracterizado posteriormente), caso a resistência ao impacto não seja crucial ao destino do mesmo [6].

O polimetilmetacrilato apresenta algumas características que o tornam bastante utilizado para diversas áreas, como é o caso da iluminação, cosmética, indústria automóvel, etc.:

- Rigidez e estabilidade dimensional;
- Excelentes propriedades óticas;
- Dureza e resistência aos riscos;
- Transparência e brilho;
- Excelente resistência aos raios solares (UV) e ao envelhecimento ambiental [6].

### 2.2.2. PC – POLICARBONATO

O policarbonato é um polímero termoplástico e a sua estrutura química encontra-se representada na figura 2.4.

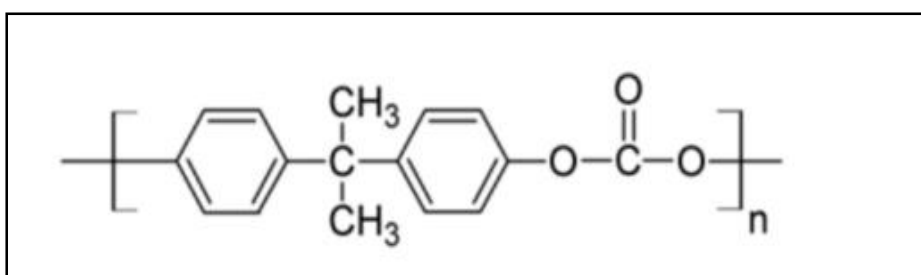


Figura 2.4 – Estrutura química do PC [7].

As resinas de policarbonato são produzidas, na sua maior parte por reações de policondensação. Caracteriza-se por ser um polímero amorfo e transparente e por possuir elevada resistência aos raios UV. Esta característica pode ser melhorada através da utilização de estabilizadores UV. De modo a aumentar a rigidez deste polímero, o policarbonato pode

ser reforçado com fibra de vidro [7]. É devido a estas características que este polímero é usado na indústria automóvel para faróis, no ramo da eletrónica como conector, na iluminação, entre outras áreas.

Dependendo da matéria-prima e, conseqüentemente, da sua temperatura de fusão, as necessidades energéticas e as perdas de calor serão diferentes, sendo indispensável falar-se então dos mecanismos de transferência de calor e em energia elétrica.

## 2.3. TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ESTADO ESTACIONÁRIO

Sempre que existe diferença de temperatura entre dois meios, ocorre transferência de calor. Essa transferência de calor pode ser por condução, convecção ou por radiação [9].

### 2.3.1. CONDUÇÃO

A transferência de calor por condução ocorre ao nível atómico e molecular. A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância, devido às interações entre elas [8].

Assim, temperaturas mais elevadas estão associadas a energias moleculares mais altas e, quando chocam com moléculas vizinhas, dá-se uma transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas [8].

Quando existe um gradiente de temperatura, a transferência de energia por condução deve ocorrer na direção da diminuição da temperatura [8].

Segundo a lei de *Fourier*, o fluxo térmico, numa parede plana, é dado pela equação (2.1):

$$q'' = k \times \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

em que:

$q''$  – fluxo de calor ( $W/m^2$ )

$\frac{dT}{dx}$  – gradiente de temperatura na direção  $x$

$k$  – condutividade térmica do material ( $W/m.K$ )

A forma integrada da equação de *Fourier* para condução radial em sistemas cilíndricos apresenta-se na equação (2.2):

$$q = k \times A_{lm} \times \frac{\Delta T}{\Delta r} \quad (2.2)$$

em que:

$q$  – potência térmica (W)

$A_{lm}$  – área média logarítmica ( $m^2$ )

$\Delta T$  – variação da temperatura ( $^{\circ}C$ )

$\Delta r$  – variação do raio (m)

sendo que  $A_{lm}$  é dada por:

$$A_{lm} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}} \quad (2.3)$$

e  $\Delta T_A$  é a diferença de temperaturas no lado A e  $\Delta T_B$  é a diferença de temperaturas do lado B do sistema cilíndrico.

### 2.3.2. CONVECÇÃO

O modo de transferência de calor por convecção abrange dois mecanismos. Além da transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório (difusão), a energia também se transfere devido ao movimento global ou macroscópico do fluido. Esse movimento global das moléculas, na presença de um gradiente de temperatura, contribui para a transferência de calor [8].

Como as moléculas mantêm o seu movimento aleatório, a transferência de calor deve-se à sobreposição da transferência de energia pelo movimento aleatório das moléculas, com o transporte devido ao movimento global do fluido.

Assim sendo, a transferência de calor por convecção ocorre devido ao contacto entre um fluido em movimento e uma superfície, estando os dois a temperaturas diferentes [8].

A expressão que representa a taxa de calor transferida por convecção, também conhecida como a lei do arrefecimento de *Newton* por convecção, é dada pela equação (2.4).

$$q = h \times A \times (T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

em que:

$T_s$  – temperatura da superfície (°C)

$T_\infty$  – temperatura do fluido (°C)

$h$  – coeficiente de transferência de calor (W/m<sup>2</sup>.K)

$A$  – área de transferência de calor (m<sup>2</sup>)

No mecanismo de transferência de calor por convecção é possível distinguir-se duas situações, a convecção natural e a convecção forçada.

Na convecção natural, o movimento das partículas é provocado pela diferença de densidade do fluido devido ao gradiente de temperaturas [8]. Deste modo, o fluido quente ascende por ser menos denso, contrariamente ao que acontece com o fluido frio. Em contrapartida, na convecção forçada o movimento do fluido é provocado por uma fonte externa, como um ventilador, uma bomba, etc., que promovem a movimentação do fluido.

O coeficiente médio de transferência de calor por convecção natural para cilindros horizontais, que é o caso em estudo, pode ser calculado utilizando a equação (2.5) [8]:

$$Nu = \frac{h \times D}{k} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \times Ra_D^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (2.5)$$

em que:

$Nu$  – número de *Nusselt*

$D$  – diâmetro externo do cilindro (m)

$k$  – condutividade térmica do fluido (W/m.K)

$Ra_D$  – número de *Rayleigh*

Pr – número de *Prandlt*

O número de *Rayleigh* pode ser calculado utilizando a expressão (2.6):

$$Ra_D = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_\infty) \times D^3}{\alpha \times \nu} \quad (2.6)$$

em que:

g – aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

β – coeficiente de expansão térmica do fluido (K<sup>-1</sup>)

ν – viscosidade cinemática do fluido (m<sup>2</sup>/s)

α – difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s)

Relativamente ao número de *Prandlt*, este pode ser calculado utilizando a equação (2.7):

$$Pr = \frac{cp \times \mu}{k} \quad (2.7)$$

onde:

cp – calor específico do fluido (J/kg.K)

μ – viscosidade dinâmica do fluido (kg/m.s)

### 2.3.3. RADIAÇÃO

A radiação é a energia emitida pela matéria que se encontra a uma temperatura absoluta não nula. A emissão ocorre em superfícies sólidas, em gases e em líquidos [8].

A radiação ocorre devido às mudanças das configurações eletrónicas dos átomos ou moléculas que constituem a matéria que emite energia [8]. É importante referir que, ao contrário do que sucede com os mecanismos de transferência de calor por condução e convecção, a radiação não necessita de um meio para se propagar.

A taxa líquida de transferência de calor por radiação, considerando um pequeno corpo num grande espaço, é dada pela equação (2.8):

$$q_{\text{rad}} = A \times \varepsilon \times \sigma \times (T_s^4 - T_{\text{viz}}^4) \quad (2.8)$$

em que:

$T_{\text{viz}}$  – temperatura da vizinhança (K)

$\sigma$  – constante de Stefan-Boltzmann –  $5,67 \cdot 10^{-8} (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$\varepsilon$  – emissividade do material

## 2.4. CONCEITOS BÁSICOS DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é utilizada por diferentes equipamentos, sendo que estes transformam essa energia em calor, luz, campos magnéticos, entre outros [9].

A energia é obtida pelo produto da potência pelo tempo, tal como se verifica pela equação 2.9 [9].

$$\text{Energia Elétrica} = \text{Potência Elétrica} \times \text{tempo} \quad (2.9)$$

A potência elétrica pode dividir-se em três componentes:

- Potência aparente (S)

$$S = U \times I \quad (2.10)$$

- Potência Ativa (P)

$$P = U \times I \times \cos \varphi \quad (2.11)$$

- Potência Reativa (Q)

$$Q = U \times I \times \sin \varphi \quad (2.12)$$

em que:

U – diferença de potencial (V)

$I$  – intensidade da corrente elétrica (A)

$\varphi$  – defasamento entre a tensão e a intensidade da corrente elétrica.

Na figura 2.5 encontra-se representado um esquema das três vertentes da energia elétrica.

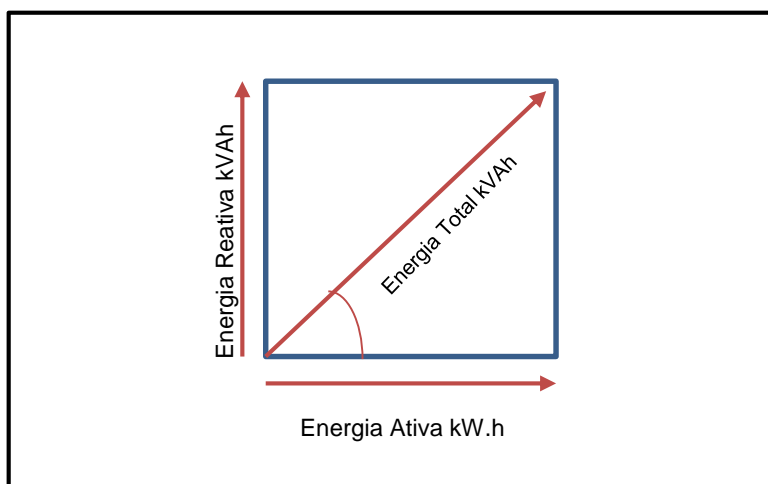


Figura 2.5 – Componentes da energia.

A partir da figura 2.5 verifica-se que a energia total ou energia aparente é a soma da energia reativa com a energia ativa, sendo que a energia reativa é faturada ao cliente quando a  $\tan \varphi$  (razão entre a energia ativa e energia reativa) for superior 0,4.

Sempre que se utiliza um circuito que apenas possui recetores resistivos, o gerador de energia elétrica apenas transportará na rede potência ativa para a realização de trabalho nos respetivos recetores, o que significa que a potência aparente é igual à potência ativa [9].

No entanto, os equipamentos que se utilizam no dia a dia não são resistivos, o que significa que não será apenas necessária potência ativa. Assim, alguns equipamentos, como é o caso dos motores, requerem um campo magnético para o seu funcionamento e, para este ser gerado, é necessária uma corrente magnética ou reativa. Para além dos motores, existem vários equipamentos que utilizam recetores indutivos (bobinas), como é o caso dos balastros, aparelhos de soldar, etc [9].

No caso dos circuitos indutivos, existe um defasamento entre a tensão e a intensidade da corrente elétrica e, por isso, o  $\varphi$  é diferente de  $0^\circ$  [9]. Deste modo, pretende-se que a potência reativa seja o menor possível, pois quanto mais elevada esta for, maior será a potência aparente, o que significa que o fator de potência será menor (equação 2.13).

$$FT = \frac{\text{Energia Ativa}}{\text{Energia Aparente}} = \cos\varphi \quad (2.13)$$

em que FT é o fator de potência.

Como é possível observar pela equação 2.13, o fator de potência é dado pelo quociente entre a energia ativa e a energia aparente e, por isso, quanto mais próximo da unidade for esse valor, menor será a energia reativa o que significa que menos perdas existirão na rede elétrica (pois a rede de distribuição não está a ser “ocupada” pela energia reativa, ficando impedida para fazer chegar maior quantidade de energia ativa aos consumidores de energia).

Assim, devem ser tomadas medidas de modo a reduzir a potência reativa, como é o caso da instalação de condensadores elétricos, que quando dimensionados e instalados da maneira correta, podem minimizar o consumo de energia reativa [9].



### 3. LEVANTAMENTO ENERGÉTICO

O levantamento energético é um processo de recolha e tratamento de informação que irá permitir a caracterização energética de uma organização ou setor, com o objetivo de descrever o fluxo do consumo de energia. Por outras palavras, é a radiografia do desempenho energético de uma unidade fabril, que permitirá avaliar a energia efetivamente consumida (por secção, equipamentos e formas de energia utilizada), de modo a identificar onde existe maior consumo e mais desperdícios [10].

O levantamento energético é uma ferramenta muito importante, uma vez que permite:

- Identificar as formas de energia consumidas na organização ou secção em análise;
- Quantificar o consumo global de energia da organização ou secção;
- Identificar os principais consumidores de energia e o seu perfil de consumo;
- Caracterizar a empresa face à legislação energética em vigor [10].

#### 3.1. SECÇÃO DA INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

Uma vez que este estágio decorreu na secção da injeção de plásticos, o levantamento energético também foi realizado nesse mesmo sector. Esta secção tem uma área 1322 m<sup>2</sup>, correspondendo a 3,5% da área total implementada na empresa (37850m<sup>2</sup>).

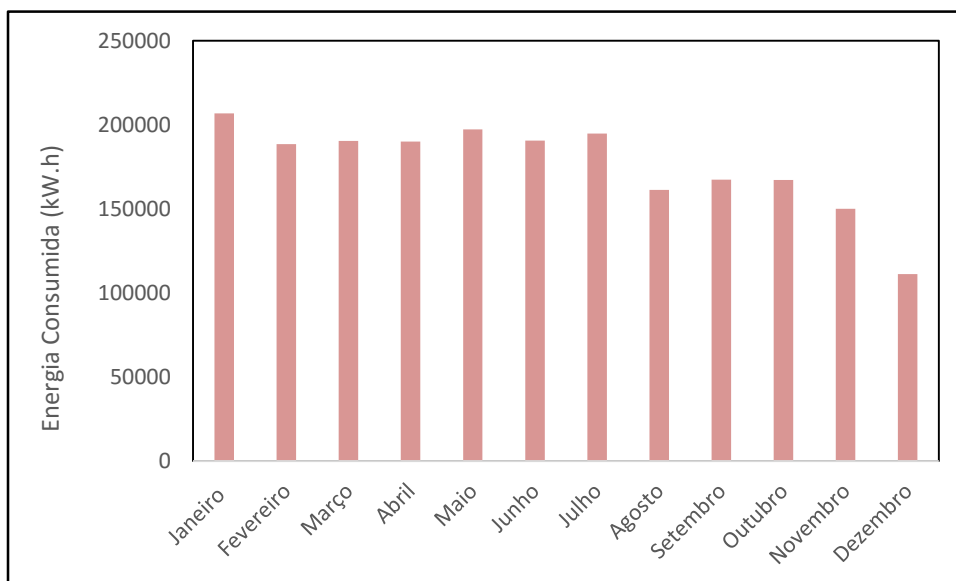
Assim sendo, na tabela 3.1 encontram-se representados os principais equipamentos consumidores de energia elétrica na área de injeção.

**Tabela 3.1** – Lista dos equipamentos da injeção de plásticos.

EQUIPAMENTOS	NÚMERO DE EQUIPAMENTOS
<b>Máquinas de injeção</b>	19
<b>Robots</b>	17
<b>Pratos rotativos</b>	3
<b>Tapetes rolantes</b>	17
<b>Secadores/Estufas</b>	57
<b>Alimentadores/Tremonhas</b>	30
<b>Termorreguladores</b>	91
<b>TOTAL EQUIPAMENTOS</b>	234

Como é possível observar pela tabela 3.1, existem muitos equipamentos na secção de injeção que contribuem para o elevado consumo de energia nesta divisão. Destacam-se as máquinas de injeção como sendo as maiores consumidoras de energia elétrica. Cada máquina possui as resistências de aquecimento dos cilindros de injeção e o respetivo motor.

Relativamente às formas de energia consumidas na secção de injeção de plásticos na *Preh* Portugal, apenas se utiliza energia elétrica. Na figura 3.1 encontra-se o diagrama de carga relativo aos consumos de 2015.



**Figura 3.1** – Diagrama de carga relativo ao ano de 2015.

Tal como é possível observar pelo gráfico da figura 3.1, o consumo de energia elétrica mantém-se aproximadamente constante durante os primeiros sete meses do ano, havendo um decréscimo a partir de agosto, sendo que o mês de dezembro é o que apresenta um valor de energia elétrica mais reduzido. Deste modo, para o ano de 2015 obteve-se um consumo total de energia elétrica de 2116038 kW.h, correspondendo a 454,95 tep (tonelada equivalente de petróleo – ANEXO A).

Uma vez apresentado o diagrama de carga referente ao ano de 2015, na tabela 3.2 encontra-se representado o número de peças produzidas por cada mês, relativo ao mesmo ano.

**Tabela 3.2** – Produção mensal relativa ao ano de 2015.

MÊS	NÚMERO DE PEÇAS PRODUZIDAS
Janeiro	1458135
Fevereiro	1917680
Março	2090170
Abril	1955900
Maior	1778876
Junho	1754723
Julho	1844083
Agosto	1780608
Setembro	1537021
Outubro	1621507
Novembro	1587106
Dezembro	780509
<b>TOTAL</b>	<b>20106318</b>

Tal como é possível observar pela tabela 3.2 e, como se verificou nos consumos de energia elétrica, o mês de dezembro foi aquele em que se produziu menos peças na secção da injeção, representando cerca de 4% do número total de peças produzidas no ano de 2015, seguindo-se o mês de janeiro. Em contrapartida, foi no mês de março que a produção foi mais elevada, representado 10,4% das peças totais produzidas.

No gráfico da figura 3.2 encontra-se representada a relação entre o número de peças produzidas e a energia gasta em cada peça (índice de consumo ou consumo específico de energia), referente ao ano de 2015, de maneira a realçar o que foi referenciado anteriormente.

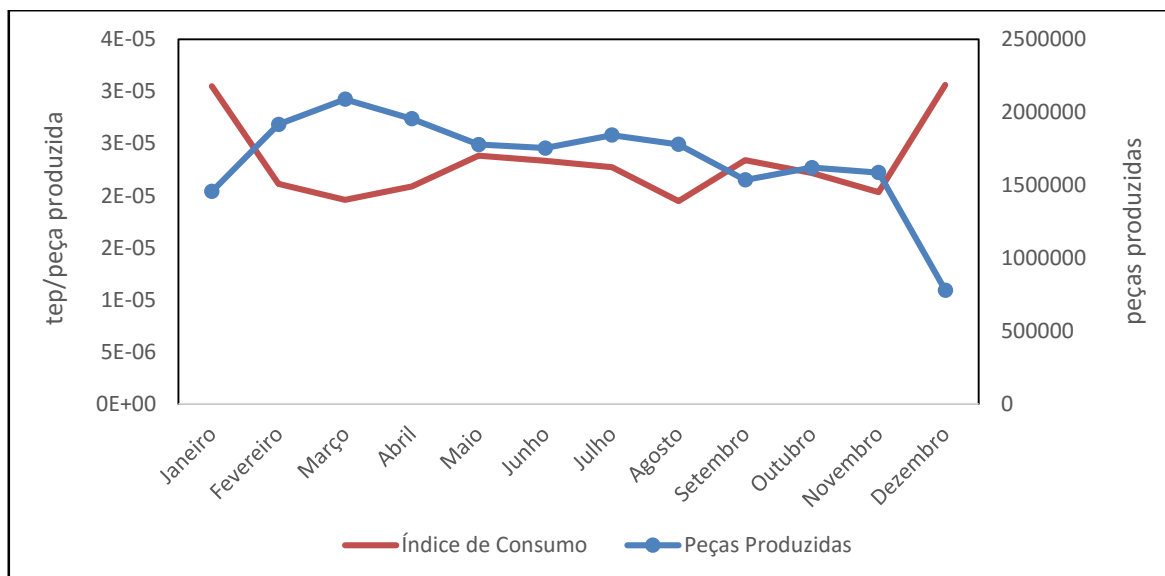


Figura 3.2 - Relação entre o número de peças produzidas e a energia consumida por peça, para o ano de 2015.

É possível verificar pelo gráfico da figura 3.2, que tanto o número de peças produzidas como o índice de consumo variam ao longo do ano, sendo os meses de janeiro e dezembro os que apresentam uma variação mais significativa, tal como mencionado anteriormente. Uma vez que nesses meses existe uma redução do número de peças produzidas, esse valor irá refletir-se no índice de consumo, visto que este é a razão entre a energia elétrica consumida e o número de peças produzidas. É importante referir que o número de peças produzidas baixou durante estes dois meses devido, possivelmente, ao facto de serem períodos de férias.

Através de gráficos que representam o consumo de energia em função do número de peças produzidas, é possível obter-se uma relação que fornece informação sobre a existência de linearidade do processo (equação 3.1).

$$E = m \times p + E_0 \tag{3.1}$$

em que:

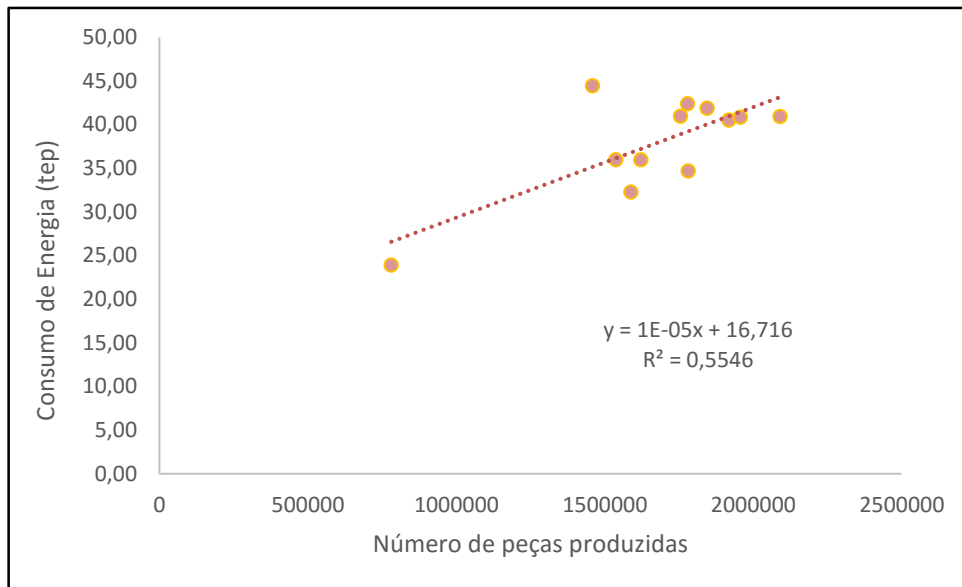
E – energia consumida (tep)

m – declive da reta (consumo específico)

p – produção

E<sub>0</sub> – ordenada na origem (consumo fixo não associado à produção)

A partir dos dados da figura 3.1 e da tabela 3.2, é possível verificar se existe linearidade entre a energia elétrica consumida na empresa e o número de peças produzidas durante o ano em análise (figura 3.3).



**Figura 3.3** - Consumo de energia elétrica em função do número de peças produzidas.

Analisando o gráfico da figura 3.3 verifica-se que a equação característica do consumo de energia em função do número de peças produzidas na secção de injeção de plásticos é dada por:

$$E = 1 \times 10^{-5}p + 16,72 \quad (3.2)$$

É importante referir que existem algumas características importantes a ter em conta quando se observa a figura 3.3:

Ordenada na origem – representa a energia que seria necessária mesmo que a produção fosse nula, isto é, são consumos fixos e neste caso estes tomam o valor de 16,72 tep, o que corresponde a 77748,83 kW.h;

Declive da reta – representa a quantidade de energia necessária para a produção de uma peça na unidade de injeção. Para esta situação, o consumo específico de energia apresenta o valor de  $1 \cdot 10^{-5}$  tep/peça produzida.

Dispersão – representa a distância dos pontos do ajustamento efetuado, indicando a variação energética por cada peça produzida durante o ano de 2015. Uma vez que os pontos se encontram dispersos (coeficiente de correlação linear é baixo), é possível

afirmar que não existe uma relação entre a energia elétrica consumida e o número de peças produzidas.

Quando se pretende fazer a análise energética de uma empresa ou secção fabril, é necessário conhecer-se os consumos de energia da instalação de modo a ser possível atuar para se poder racionalizar o consumo dessa mesma energia. No entanto, apenas os consumos de energia não são suficientes para avaliar a situação da instalação e, para isso, existem alguns indicadores de eficiência energética que permitem avaliar e comparar o desempenho das instalações.

Consumo específico de energia (CEE) – indicador energético calculado através do quociente entre o consumo de energia de uma instalação (tep) e o respetivo volume de produção.

$$CEE = \frac{454,95}{20106318} = 2,26 \times 10^{-5} \text{tep/peça produzida}$$

Comparando o valor do declive obtido pelo gráfico da figura 3.3 e o valor do consumo específico de energia calculado anteriormente, pode-se afirmar que os valores se encontram na mesma ordem de grandeza e, por isso, o valor é aceitável.

Intensidade energética (IE) – é o quociente entre o consumo de energia (tep) e o valor acrescentado bruto das atividades ligadas à empresa (€). Devido à confidencialidade dos dados, esse valor não será apresentado neste relatório.

Intensidade carbónica (IC) – indicador energético calculado através do quociente entre o valor das emissões dos gases com efeito de estufa e o consumo total de energia.

$$IC = \frac{994537,86}{454,95} = 2186,04 \text{ kg CO}_2/\text{tep}$$

Através do cálculo da intensidade carbónica, é possível afirmar-se que por cada tep de energia consumida na secção de injeção de plásticos a empresa emite 2186,04 kg de CO<sub>2</sub> (exemplo de cálculo no ANEXO A).

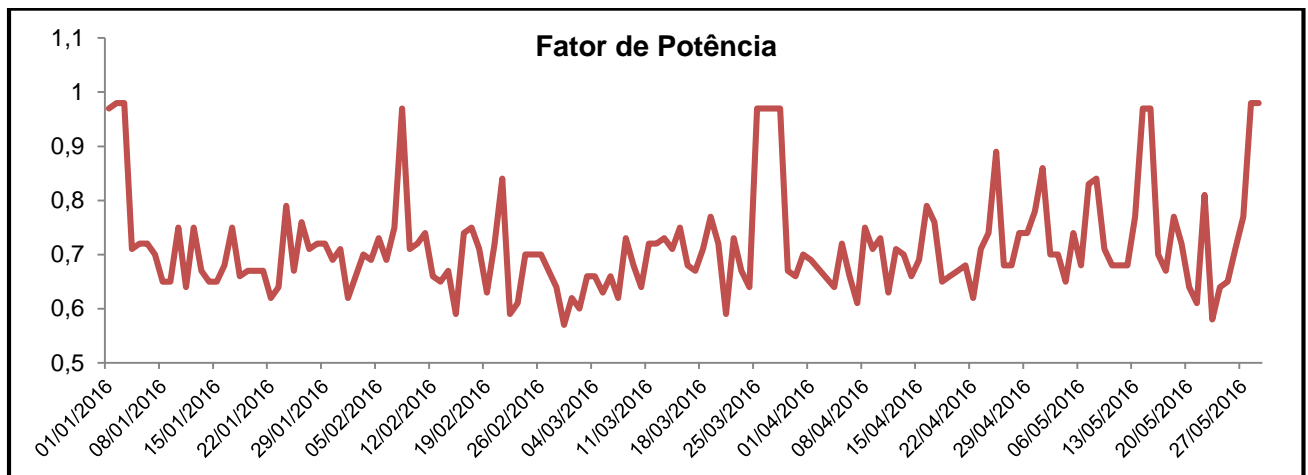
Atendendo ao facto de apenas se estar a considerar a secção de injeção para este levantamento energético e de, tal como referido anteriormente, esta secção ser responsável por 20,9% do consumo global de energia na empresa, é possível afirmar-se que a empresa é consumidora intensiva de energia (consumo superior a 1000 tep/ano) e por isso deve-se:

- Realizar auditorias energéticas de 6 em 6 anos;

- Atingir metas mínimas de 6% em 6 anos para os valores de consumo específico de energia e para a intensidade energética;
- Manter os valores históricos da intensidade carbónica [11].

Em paralelo com os ensaios descritos anteriormente, foi realizado um levantamento do fator de potência relativo à secção de injeção de plásticos desde o início deste ano, de modo a avaliar-se a relação entre a energia ativa e a energia total (energia ativa mais a energia aparente).

Assim sendo, no gráfico da figura 3.4 encontra-se representado o valor do  $\cos \varphi$  (quociente entre a energia ativa e a energia total) em função do tempo, desde o início do presente ano até ao final do mês de maio.



**Figura 3.4** – Fator de potência em função do tempo.

Analisando o gráfico da figura 3.4 é possível afirmar que o fator de potência apresenta várias oscilações, apresentando um valor médio para o ano de 2016, para a secção de injeção de plásticos, de 0.72. Pode concluir-se que, uma vez que o valor do fator de potência se encontra afastado da unidade, o consumo da energia reativa é considerável e, por isso, as perdas também são significativas.

Para aumentar o fator de potência, deveriam ser instaladas baterias de condensadores que, quando bem dimensionadas, fornecem a energia reativa necessária sem recorrer a uma central elétrica. É um equipamento que melhora o  $\cos \varphi$ , pois o consumo de energia reativa será menor e existirão menos perdas na rede de utilizadores e, conseqüentemente, menores os gastos com a eletricidade. É de realçar que existem baterias de condensadores instaladas no quadro geral de baixa tensão, no entanto, essas perdas poderiam ser reduzidas, se estas fossem instaladas mais próximas do local de consumo.

### 3.2. MÁQUINA DE INJEÇÃO

Uma vez que este estudo se baseia na redução energética das máquinas de injeção presentes na *Preh* Portugal, neste subcapítulo encontram-se os resultados referente ao levantamento energético efetuado a uma máquina de injeção de plásticos.

A tabela 3.3 contém a listagem das máquinas atuais na empresa, bem como o respetivo número de unidades de injeção em cada uma delas.

**Tabela 3.3** – Máquinas de injeção e respetivos números de unidades de injeção.

Nº DA MÁQUINA	MARCA – MODELO	ANO	Nº UNIDADES DE INJEÇÃO
3	<i>Ferromatik</i> EE 155-300	2003	1
4	<i>Ferromatik</i> EE 180	2005	1
10	<i>Ferromatik</i> K175-S4F	1996	4
11	<i>Ferromatik</i> K175-S4F	1998	4
14	<i>Arburg</i> 270 S 150-60 U	2000	1
17	<i>Arburg</i> 1200T-1300-150	2000	1
18	<i>DEMAG Multi</i> 110/470	2008	3
19	<i>Ferromatik</i> K175-S4F	1996	2
20	<i>Ferromatik</i> K175-S4F	1999	4
21	<i>Ferromatik</i> K175-S3F	1997	3
22	<i>Ferromatik</i> K175-S3F	1997	2
23	<i>Ferromatik</i> K175-S3F	1996	2
24	<i>DEMAG Multi</i> 420/810	2006	2
25	<i>Ferromatik</i> K-TEC 275 S/4F	2000	4
26	<i>ENGEL</i> Duo 1050H	2012	2
27	<i>Arburg</i> 320 C 500-170	2013	1
28	<i>Arburg</i> 420 C 1000-290	2013	1
29	<i>DEMAG Multi</i> 200/560	2014	3
30	<i>DEMAG Multi</i> 200	2015	2
31	<i>Ferromatik-TEC</i> 400-1000S	2015	1

Para iniciar o estudo, começou por selecionar-se duas máquinas: uma da marca *DEMAG* (29), que apesar de ter menor força de fechamento (200 ton), é das poucas que opera continuamente e outra da marca *ENGEL* (26) pois é a que possui força de fechamento mais

elevada (600 ton). Entende-se por força de fechamento, a força necessária para manter o molde fechado durante o processo de injeção.

Sendo o tema deste trabalho o estudo energético de uma máquina de injeção, nesta secção é realizada uma avaliação dos consumos globais da máquina 29, de maneira a verificar em que pontos se consome efetivamente mais energia. A avaliação é apenas para a máquina 29, uma vez que esta permanece em produção, em média, 5,5 dias por semana e 24 horas por dia, e devido ao facto de ser preciso parar a produção sempre que é necessário fazer medições dos consumos de eletricidade.

Como consumidores de eletricidade na máquina 29 existem as passadeiras que levam o produto final até ao operador, os motores que geram energia mecânica de modo a manter em funcionamento as bombas hidráulicas, as resistências elétricas que são responsáveis por aquecer o material plástico que se encontra no interior do fuso, os robots, a estufa onde se encontra a matéria-prima e, por fim, os canais quentes, que são canais controladores de temperatura responsáveis por manter o material no estado líquido (fundido) desde o bico da injetora à entrada do molde.

Após terem sido realizadas medições à máquina 29, sabe-se que esta consome, em média, diariamente, 475,33 kW.h. As resistências elétricas colocadas na unidade 1 representam uma percentagem de aproximadamente 20 % e o motor é responsável por 40% dos consumos globais, sendo que os restantes 40% dizem respeito às outras unidades de injeção, bem como à energia consumida pela passeira, tremonha, etc. Os dados relativos à energia consumida são apresentados no ANEXO B (tabela B1 à B13). É importante referir que os cálculos dos consumos diários não incluíram paragens devido a avarias e troca de moldes, uma vez que esses tempos são variáveis, sendo então considerado um período de funcionamento de 24 horas diárias.

Embora o motor apresente um maior consumo de energia elétrica, a otimização energética foi realizada nas resistências de aquecimento do cilindro de injeção através da aplicação de mantas térmicas isolantes, pois o motor já se encontra dimensionado pelo fabricante. Na tabela 3.4 encontram-se representadas as características do motor instalado na máquina *DEMAG* 29, que é responsável por fornecer energia mecânica a três bombas instaladas nesta máquina de injeção, responsáveis pelo bombeamento do óleo.

**Tabela 3.4** – Características do motor da máquina *DEMAG 29*.

**Características**

<b>Marca/ Modelo</b>	<i>Siemens</i> IMB 35 225 M IP 55
<b>Peso (kg)</b>	315
<b>Frequência (Hz)</b>	50
<b>Potência (kW)</b>	45
<b>Cos <math>\varphi</math></b>	0,87

O motor instalado nesta máquina piloto é responsável pelo funcionamento das três bombas instaladas na *DEMAG 29*, embora estas difiram entre si. A bomba 1, para além de ser responsável pelo acionamento da unidade 1, também realiza o bombeamento do óleo necessário ao fecho do molde, daí possuir maior capacidade do que as outras duas.

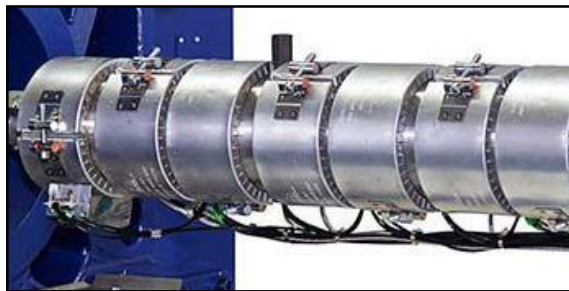
## 4. ESTUDO ENERGÉTICO DAS MÁQUINAS DE INJEÇÃO

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo energético de uma máquina de injeção da *Preh* Portugal. Deste modo, começou por se selecionar quais as máquinas em que se irá iniciar o estudo dos consumos energéticos, bem como as perdas associadas às mesmas. Assim sendo, neste capítulo encontra-se representado o estudo realizado às duas máquinas piloto já referenciadas anteriormente (*DEMAG 29* e *ENGEL 26*)

### 4.1. POTÊNCIA TÉRMICA DISSIPADA E ENERGIA CONSUMIDA SEM ISOLAMENTO TÉRMICO

Tal como referido, o primeiro teste foi realizado nas máquinas *DEMAG 29* e *ENGEL 26*, que têm como força de fechamento 200 e 600 ton, respetivamente.

É necessário ter em conta que a área de transferência de calor é variável ao longo do cilindro, tal como é possível observar pela imagem da figura 4.1.



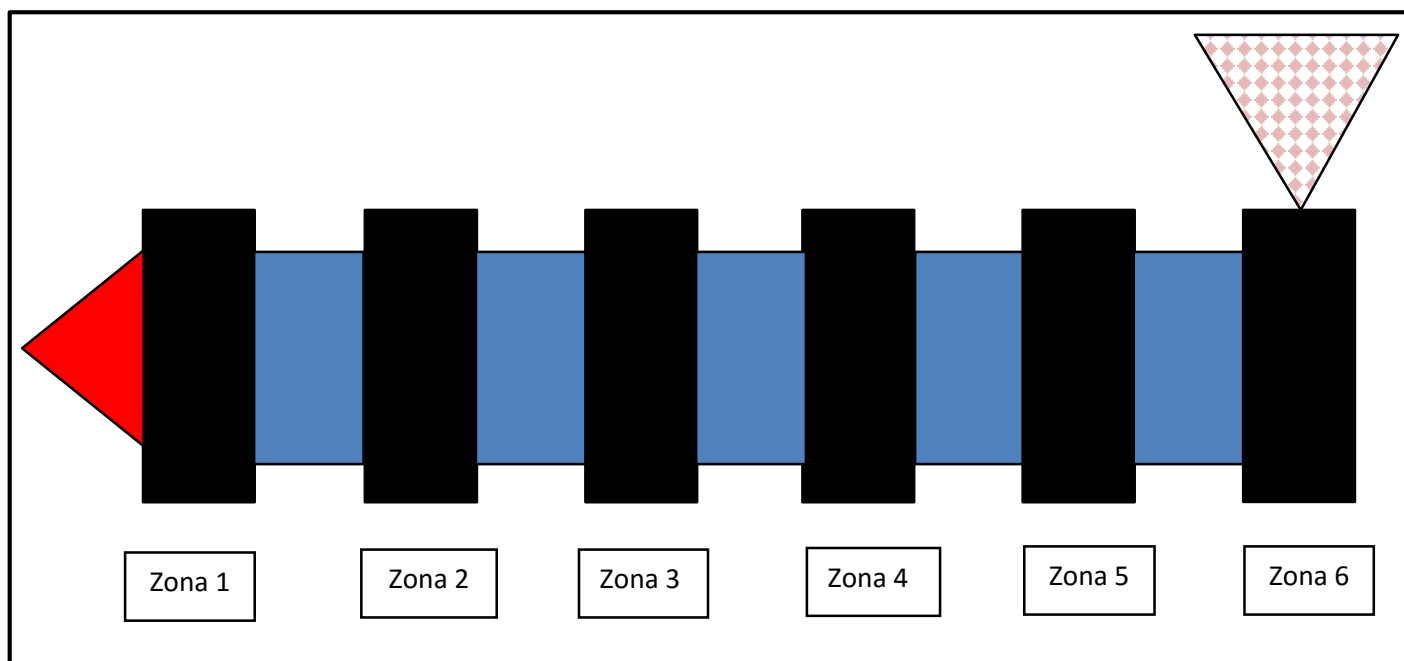
**Figura 4.1** – Fotografia de um cilindro de injeção.

Observando a figura 4.1, pode-se afirmar que um cilindro de injeção tem duas secções distintas: as resistências de aquecimento (zona com maior diâmetro) e o cilindro não coberto. As áreas de transferência de calor e as emissividades dos materiais também são diferentes.

#### 4.1.1. AQUISIÇÃO DE DADOS EXPERIMENTAIS

Para a determinação da potência térmica dissipada por convecção e por radiação foi necessário medir alguns parâmetros. Assim sendo, a temperatura de superfície foi determinada utilizando um termómetro do tipo K, sendo que as medições foram efetuadas em 3 pontos do cilindro e a temperatura usada foi a média desses mesmos valores.

É importante referir que as temperaturas impostas na máquina de injeção variam consoante a matéria-prima utilizada e, por isso, todas as medições foram realizadas para temperaturas muito próximas de fusão da matéria-prima, de modo a minimizar os erros dos consumos energéticos e da potência térmica dissipada. Na figura 4.2 encontra-se representado um esquema das secções de um cilindro de injeção.



**Figura 4.2** – Representação esquemática das secções de um cilindro de injeção.

Tal como é possível observar pela figura 4.2, existem várias zonas do cilindro onde as temperaturas do fuso são medidas (Zona 1 à Zona 6) e, por isso, todas as medições foram efetuadas tendo em conta a matéria-prima utilizada, de modo a minimizar os erros devido às diferenças de temperatura consoante o produto utilizado.

Para a determinação da emissividade dos materiais que constituem o cilindro metálico e, conseqüentemente, para o cálculo da potência térmica perdida por radiação, utilizou-se um medidor trifásico da marca *FLUKE* e modelo Ti110, cujas especificações e detalhes de funcionamento se encontram no ANEXO D.

A imagem da figura 4.3 diz respeito a uma imagem captada através da câmara termográfica.

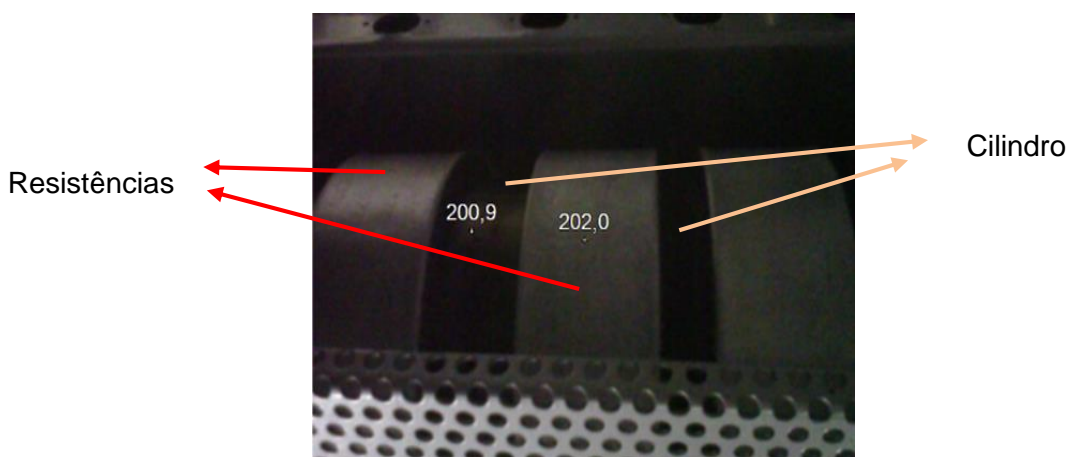


Figura 4.3 – Imagem termográfica da máquina *ENGEL 26*.

Nas imagens captadas pela câmara termográfica, foram seleccionadas áreas para encontrar a temperatura média da superfície, ajustando-se na câmara a emissividade da superfície de modo a igualar à temperatura média medida com o termómetro [12].

Relativamente às dimensões do cilindro não coberto e das resistências de aquecimento, estas foram medidas com uma fita métrica ou então obtidas através do manual do equipamento da empresa. Na tabela 4.1 encontram-se representadas as dimensões referentes às duas máquinas piloto.

Tabela 4.1 – Dimensões das máquinas piloto.

PARÂMETROS	<i>DEMAG 29</i>	<i>ENGEL 26</i>
<b>Número de resistências</b>	5	11
<b>Diâmetro das resistências (m)</b>	0,125	0,153
<b>Comprimento de uma resistência (m)</b>	0,095	0,050
<b>Diâmetro do cilindro (m)</b>	0,100	0,128
<b>Comprimento do cilindro (m)</b>	0,155	0,180
<b>Área das resistências (m<sup>2</sup>)</b>	0,187	0,264
<b>Área do cilindro (m<sup>2</sup>)</b>	0,049	0,072

A energia consumida pelas máquinas foi obtida através da utilização do medidor de energia trifásico da marca *FLUKE* e modelo 435, sendo que as suas características se encontram no ANEXO D. Para ambas as máquinas piloto foram realizados 3 ensaios, em que de 15 em 15 minutos o medidor registava os consumos instantâneos de energia consumida. Para nenhum ensaio se contabilizaram tempos de paragem para troca de molde ou avaria e, por isso, considerou-se que as máquinas laboram 24 horas por dia.

#### 4.1.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relativamente à potência térmica dissipada por convecção, na tabela 4.2 encontram-se os principais resultados e o exemplo de cálculo correspondente está no ANEXO A.

**Tabela 4.2** – Perdas térmicas por convecção – sem isolamento térmico.

VALORES OBTIDOS		MÁQUINA <i>DEMAG 29</i>	MÁQUINA <i>ENGEL 26</i>
<b>Temperatura média de superfície (°C)</b>		262,0	201,0
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>		30,0	30,0
<b>h (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>Resistência</b>	7,5	7,0
	<b>Cilindro</b>	7,7	7,1
<b>q convecção (w)</b>	<b>Resistência</b>	325,0	315,5
	<b>Cilindro</b>	87,4	88,3
<b>q convecção Total (W)</b>		412,4	403,8

Tal como é possível observar pela tabela 4.2, os valores das perdas térmicas associadas a ambas as máquinas são significativos, ultrapassando em ambas as máquinas os 400 W. Tais valores seriam de esperar, visto que a temperatura atingida pela superfície do cilindro de injeção é bastante elevada e este não se encontrava isolado de forma alguma.

Apesar da máquina 26 apresentar uma área de transferência de calor superior à máquina 29, 0,33 e 0,25 m<sup>2</sup>, respetivamente, é na máquina *DEMAG 29* que as potências térmicas dissipadas são superiores, apresentando um valor de 412,4 W, sendo que 79% desse valor é referente à potência térmica dissipada por convecção pelas resistências. Este facto deve-se, à elevada temperatura atingida pela máquina 29, 262°C, sendo que a *ENGEL 26*, apresenta uma temperatura média de superfície de 201°C, o que se irá refletir numa menor diferença de temperatura entre a própria superfície do cilindro de injeção e o meio envolvente (30°C).

Relativamente à potência térmica dissipada por radiação, é necessário ter em atenção a emissividade do material.

Na tabela 4.3 encontram-se os valores da emissividade determinada através do ajuste de temperaturas para os materiais de ambos os cilindros e as respetivas perdas térmicas por radiação para ambas as máquinas.

Tabela 4.3 – Emissividade e perdas térmicas por radiação – sem isolamento térmico.

		MÁQUINA 29	MÁQUINA 26
<b>Temp. Superfície (°C)</b>		262,0	201,0
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>		30,0	30,0
<b>Emissividade</b>	<b>Resistência</b>	0,20	0,79
	<b>Cilindro</b>	0,47	0,45
<b>q radiação (w)</b>	<b>Resistência</b>	155,0	496,6
	<b>Cilindro</b>	95,4	77,7
<b>q radiação Total (W)</b>		250,4	574,3

Observando a tabela 4.3, é possível afirmar que as emissividades dos cilindros são bastantes próximas, sendo de 0,47 para a máquina 29 e de 0,45 para a 26. Em contrapartida, relativamente às resistências, o material da máquina 29 tem uma emissividade quatro vezes inferior à da máquina 26 (0,20 e 0,79, respetivamente). O valor reduzido da emissividade das resistências da máquina *DEMAG* 29, pode ser devido ao facto de nesta máquina ter sido feito um tratamento superficial às resistências (polimento), fazendo com que este material tenha baixa emissividade e, conseqüentemente, elevada refletividade.

Na tabela 4.4 encontram-se apresentados os valores totais da potência dissipada por ambas as máquinas.

Tabela 4.4 – Potências térmicas totais - sem isolamento.

		MÁQUINA 29	MÁQUINA 26
<b>q convecção (W)</b>	<b>Resistências</b>	325,0	315,5
	<b>Cilindro</b>	87,4	88,3
<b>q radiação (W)</b>	<b>Resistências</b>	155,0	496,6
	<b>Cilindro</b>	95,4	77,7
<b>q total (W)</b>		662,8	978,1

Analisando a tabela 4.4 verifica-se que as potências térmicas dissipadas são mais elevadas na máquina 26, com um valor de 978,1 W. Relativamente à máquina 29, a potência térmica dissipada por convecção através das resistências é a que representa um maior valor, representando cerca de 49% da potência total dissipada. Já no que diz respeito à *ENGEL* 26, é a potência térmica dissipada por radiação nas resistências que apresenta um maior valor,

sendo ele 51% do valor total dissipado, visto que o material apresenta um valor de emissividade elevado. O exemplo de cálculo encontra-se no ANEXO A.

#### ○ ENERGIA CONSUMIDA

No que diz respeito aos consumos de energia elétrica por parte das resistências de aquecimento, para a máquina 29 obteve-se um valor médio diário de 95,06 kW.h e para a máquina 26 um valor de 98,08 kW.h. Estes valores apenas dizem respeito ao consumo médio das resistências da unidade 1 de cada máquina de injeção, sendo que a máquina 29 apresenta três unidades de injeção e a máquina 26 apenas duas. É importante referir, que tanto para a *DEMAG* 29 como para a *ENGEL* 26 se efetuaram 3 ensaios. As tabelas e o exemplo de cálculo relativos à máquina 29 encontram-se no ANEXO B, relativamente às tabelas referentes à máquina 26, estas apresentam-se no ANEXO C.

## 4.2. SELEÇÃO DAS MANTAS DE ISOLAMENTO

De modo a avaliar-se se seria significativo o uso de mantas isolantes, foi considerada uma percentagem de 30% de redução de energia para se poder fazer essa avaliação. Assim sendo, a tabela 4.5 mostra os consumos diários obtidos pelas resistências da unidade 1 das máquinas de injeção em estudo e a respetiva previsão de redução de custos.

**Tabela 4.5** – Estimativa da redução dos consumos energéticos.

	MÁQUINA 29	MÁQUINA 26
<b>Consumo Diário Médio (kW.h)</b>	95,1	98,1
<b>Redução Energética (%)</b>	30,0	
<b>Redução Energética anual (€)</b>	784,3	735,6

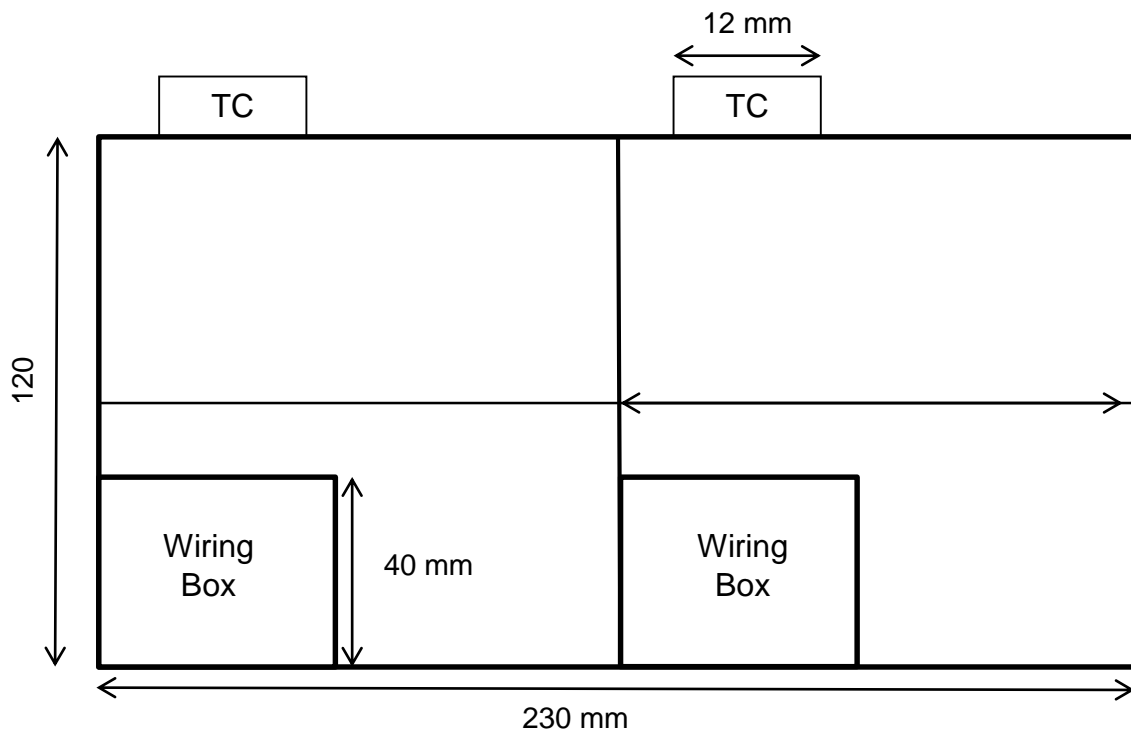
Como é possível observar pela tabela 4.5 e considerando uma redução de consumo de energia de 30% com a utilização de mantas isolantes é notório que aplicando o isolamento térmico nos cilindros de injeção se consegue obter uma redução de custos significativa. É de realçar que os cálculos apenas se referem a uma unidade de injeção, sendo que a máquina 29 é constituída por três unidades e a *ENGEL* 26 por duas, tal como referenciado anteriormente e, caso se faça a implementação em todas as unidades constituintes das

máquinas, obtém-se uma maior redução de custos. O exemplo de cálculo encontra-se representado no ANEXO A.

Também é importante referir que para a máquina 29 foi considerado que esta opera 24 horas por dia, 5,5 dias por semana e 50 semanas por ano, relativamente à máquina 26 considerou-se que esta labora apenas 5 dias por semana e 50 semanas por ano. Para ambas as máquinas, considerou-se um custo médio de energia de 0,10€/kW.h

Uma vez que as mantas necessárias ao isolamento térmico dos cilindros serão feitas por medida, pois um cilindro de injeção possuirá mais do que uma manta isolante para garantir um fácil acesso às resistências e aos controladores de temperatura, foi necessário contactar algumas empresas para saber se fabricavam o produto pretendido.

Na imagem da figura 4.4 encontra-se representado um esquema orientativo das dimensões de uma manta térmica isolante.



**Figura 4.4** – Esboço da manta isolante e respetivas dimensões.

Como é possível observar pela imagem da figura 4.4, as mantas isolantes terão que possuir cavidades para colocar os controladores de temperatura (TC) e para as saídas dos fios de ligação das resistências térmicas (*wiring box*).

Das empresas contactadas (Victor Santos, Electrolis e Hps-Portugal), a escolhida para fornecimento do material isolante foi a Hps-Portugal, porque para além de garantir uma redução de, aproximadamente, 30% dos consumos energéticos é a mais vantajosa a nível económico, pois tem um retorno de investimento mais baixo.

Na tabela 4.6 encontra-se representada a comparação dos três fornecedores contactados, Hps-Portugal, Electrolis e Victor Santos.

**Tabela 4.6** – Comparação dos fornecedores de mantas isolantes.

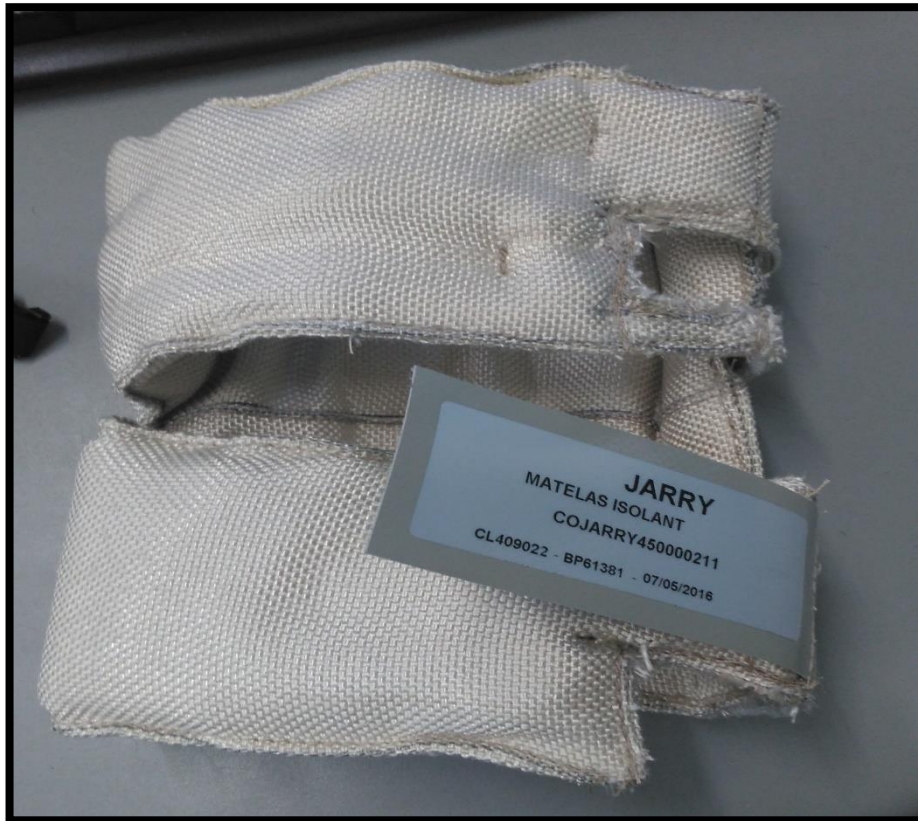
Máquina	Unidade	Fabricante	Material	Temp. Resist. (C°)	Nº Mantas	Custo Total (€)	Pay-Back (anos)
29	1	HPS-Portugal	100 % Fibra de vidro	550	3	393,57	0,50
		Electrolis	-	-	2	1300,00	1,66
		Victor Santos	Fibra de vidro	500	3	Aprox. 403,00	0,51

Analisando a tabela 4.6, verifica-se que o fornecedor HPS-Portugal é o que apresenta melhores condições relativamente aos outros dois. É necessário referir que o *pay-back* foi calculado utilizando uma redução de consumos de 30% e usando o valor de 784,25 € referenciados na tabela 4.5, pois o retorno de investimento é calculado como sendo a razão entre o valor de investimento e a poupança efetivamente obtida.

As características da manta isolante utilizada encontram-se no ANEXO E e a sua implementação foi feita apenas na máquina *DEMAG 29*, pois tal como mencionado, é das máquinas que labora mais horas por semana o que significa que o retorno de investimento da sua aplicação será mais baixo.

Deste modo, a primeira etapa foi a aplicação de mantas isolantes nos cilindros de injeção, de modo a diminuir as perdas térmicas para o meio envolvente, bem como reduzir os consumos de energia elétrica na *Preh Portugal*.

Na imagem da figura 4.5 encontra-se representada uma fotografia da manta selecionada (marca *Jarry*) para fazer o isolamento de uma das unidades de injeção da máquina *DEMAG 29*.



**Figura 4.5** - Fotografia de uma manta isolante.

#### 4.3. POTÊNCIA TÉRMICA DISSIPADA E ENERGIA CONSUMIDA COM ISOLAMENTO TÉRMICO

Após terem sido colocadas as mantas isolantes na máquina *DEMAG 29*, foram determinadas novamente as potências térmicas perdidas por convecção e radiação, bem como os consumos energéticos da mesma. O procedimento experimental para a determinação dos parâmetros foi de acordo com o mencionado no subcapítulo 4.1.1.

##### 4.3.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os ensaios realizados com isolamento térmico, também se considerou que o cilindro é dividido por duas zonas, as resistências e o cilindro não coberto, sendo que no cálculo das áreas se considerou um aumento de 9 mm, relativo à espessura das mantas isolantes. A emissividade do isolamento é de 0,75, relativamente à parte de cilindro que não se conseguiu isolar, a emissividade mantém-se (0,47).

Na tabela 4.7 encontram-se representados os resultados relativos à potência térmica dissipada usando isolamento térmico.

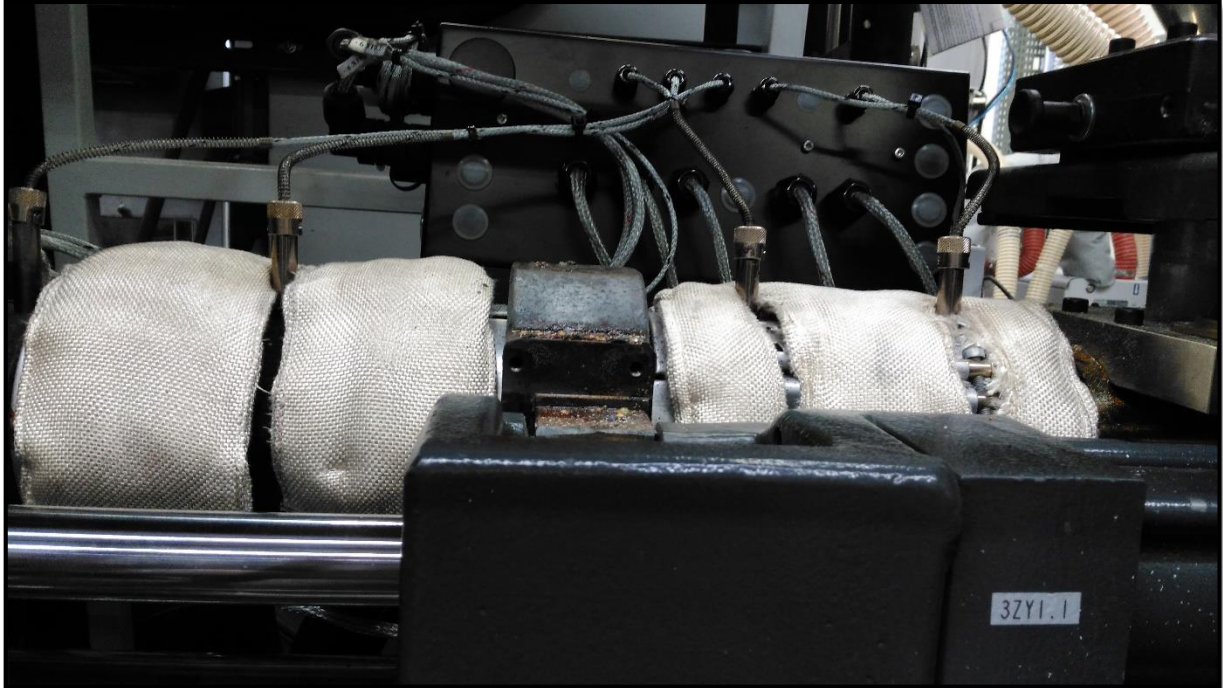
**Tabela 4.7** – Perdas térmicas associadas à máquina 29 – com isolamento térmico.

VALORES OBTIDOS		MÁQUINA <i>DEMAG 29</i>
Temperatura média de superfície (°C)		111,5
Temperatura ambiente (°C)		30,0
h (W/m <sup>2</sup> .K)	Resistência	6,1
	Cilindro isol.	6,2
	Cilindro não isol.	7,7
q convecção (W)	Resistência	105,1
	Cilindro isol.	11,2
	Cilindro não isol.	53,6
q radiação (W)	Resistência	121,5
	Cilindro isol.	12,7
	Cilindro não isol.	58,5
q Total (W)		362,6

Tal como é possível observar pela tabela 4.7 e comparando com os valores da tabela 4.4, pode-se afirmar que houve uma redução significativa da potência térmica dissipada pelo cilindro de injeção, com uma redução de, aproximadamente, 45%.

É importante referir que para ambas as secções do cilindro de injeção (cilindro livre e resistências), as potências térmicas diminuíram bastante e isso deve-se, essencialmente, à redução da temperatura de superfície de 262,0 para 111,5°C, apesar da área de transferência de calor ter aumentado devido ao aumento do diâmetro após a implementação das mantas térmicas isolantes. Com a instalação das mantas térmicas isolantes também se pretende que as temperaturas ambiente na área de injeção de plásticos diminuam, uma vez que estas chegam a atingir no verão 35°C, aproximadamente.

Na figura 4.6, encontra-se representado o cilindro da unidade 1 da *DEMAG 29* isolado com mantas térmicas, 100% fibra de vidro.



**Figura 4.6** – Fotografia do cilindro isolado.

Uma vez que não se conseguiu isolar o cilindro na totalidade, nos cálculos foram contabilizadas as áreas não isoladas, tal como é possível observar na parte central do cilindro da figura 4.6.

#### 4.3.2. ENERGIA CONSUMIDA E RESPECTIVA AVALIAÇÃO DE CUSTOS

Na tabela 4.8 encontram-se os resultados das medições efetuadas para avaliar os consumos de eletricidade por parte das resistências utilizando as mantas térmicas isolantes, bem como a redução efetiva dos consumos energéticos face às medições efetuadas sem isolamento para a máquina 29 (ANEXO F).

**Tabela 4.8** – Redução efetiva de energia – com isolamento térmico.

<b>MÁQUINA 29</b>	
<b>Consumo Diário Médio (kW.h)</b>	75,83
<b>Redução Energética (%)</b>	20,23
<b>Redução Energética anual (€)</b>	528,84

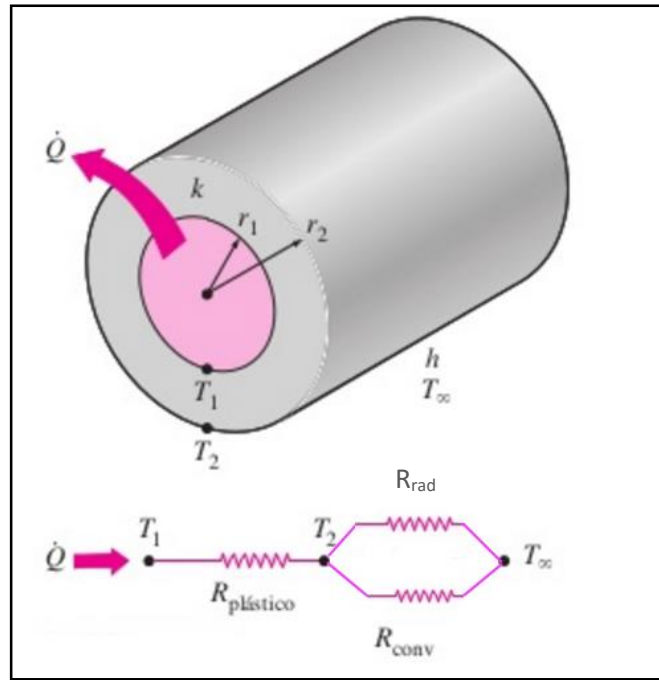
Comparando os valores da tabela 4.5 com os da tabela 4.8, é possível afirmar-se que a redução energética foi inferior à esperada e à média fornecida pelos fabricantes, apresentando os valores de 20,23 e 30,00%, respetivamente.

Apesar disso, verifica-se que a redução ainda foi significativa e que anualmente se conseguirá reduzir na fatura energética, aproximadamente 530€. Assim, com um investimento de 393,57 € e uma redução de 528,84€ na fatura anual de eletricidade, obtém-se um *Pay-Back* de 0.74 anos, o que significa que o retorno de investimento é inferior a um ano. É de realçar que este valor apenas é referente à unidade de injeção nº 1 e que existem mais duas unidades para essa mesma máquina, o que significa que a redução energética global será mais elevada.

#### 4.4. VARIAÇÃO DA POTÊNCIA TÉRMICA DISSIPADA EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DO ISOLANTE TÉRMICO

Quando se aplica um isolante térmico numa superfície pretende-se diminuir a potência térmica dissipada entre a superfície e o meio envolvente. Nesta secção apresenta-se um estudo teórico sobre a variação da potência térmica dissipada pelo cilindro de injeção em função da espessura de um isolante térmico (fibra de vidro) aplicado na sua superfície.

Na figura 4.7 encontra-se um esquema do processo de transferência de calor num cilindro isolado, em que  $T_1$  representa a temperatura de superfície do cilindro,  $T_\infty$  representa a temperatura das superfícies envolventes e do ar ambiente (considerou-se que a temperatura do ar ambiente era a mesma que a das superfícies envolventes),  $T_2$  a temperatura do material isolante,  $r_1$  o raio do cilindro a isolar e  $r_2$  o raio do cilindro já isolado.



**Figura 4.7** – Representação esquemática do processo de transferência de calor num cilindro isolado. Adaptado [13]

Realizou-se um balanço de energia à superfície do cilindro, considerando que a potência térmica dissipada por condução através do isolamento é igual ao somatório do calor dissipado por convecção e radiação para o meio ambiente e para as superfícies envolventes:

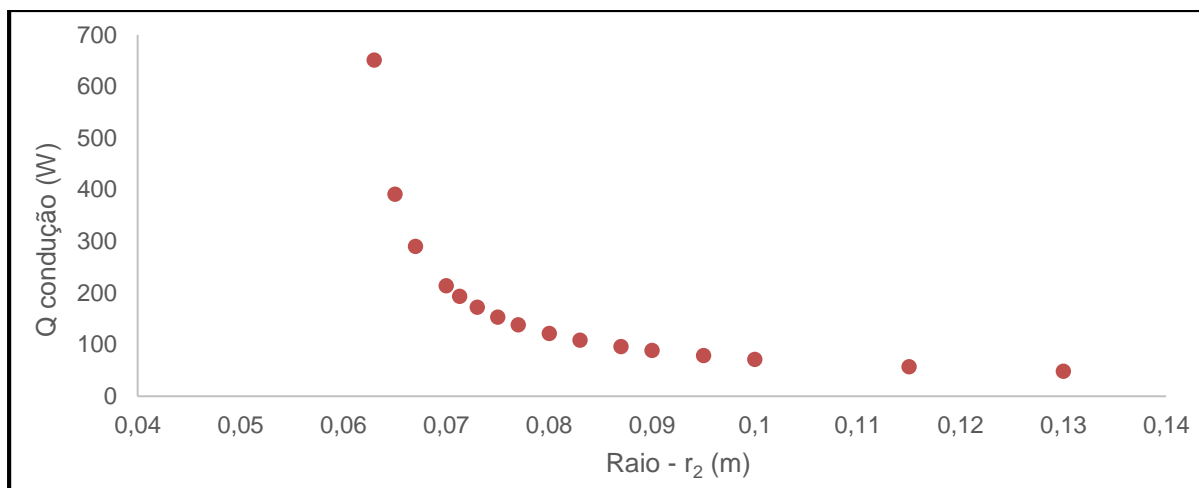
$$q_{\text{condução}} = q_{\text{convecção}} + q_{\text{radiação}} \quad (4.1)$$

$$\leftrightarrow \frac{2 \times \pi \times L \times k_{\text{isol}} \times (T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = h_{\text{conv}} \times A_2 \times (T_2 - T_{\infty}) + \varepsilon \times \sigma \times A_2 \times (T_2^4 - T_{\infty}^4)$$

em que o  $h_{\text{conv}}$  foi calculado a partir da equação 2.5.

Na figura 4.8 encontra-se representada a variação do calor dissipado em função de  $r_2$ . Para este estudo fixaram-se vários valores de  $r_2$  e através da ferramenta *SOLVER* do *Excel*, encontrou-se a temperatura de superfície do isolamento térmico,  $T_2$ . Resolvendo a equação 4.1, finalmente calculou-se  $q_{\text{cond}}$ . As propriedades físicas utilizadas e a tabela referente ao gráfico da figura 4.8 encontram-se no anexo G.

Para o caso em estudo, considerou-se apenas a parte das resistências (não se contabilizou a área do restante cilindro livre).



**Figura 4.8** – Potência térmica dissipada por condução em função de  $r_2$ .

Através da análise da figura 4.8, verifica-se que aumentando a espessura do isolamento a potência dissipada diminui, sendo que a partir de  $r_2 = 0,1$  m a potência atinge um valor aproximadamente constante. No entanto, a espessura do isolamento a utilizar terá que ter em conta considerações de carácter económico.

Utilizando o valor efetivo da espessura das mantas térmicas isolantes aplicadas nas máquinas de injeção (9 mm), e usando a ferramenta *SOLVER* do Excel, a temperatura de superfície toma o valor de  $102,1^\circ\text{C}$ , sendo diferente do valor da temperatura determinada experimentalmente,  $111,5^\circ\text{C}$ . Essa diferença de temperaturas também se irá refletir na potência térmica dissipada pelas resistências de aquecimento, sendo que o valor experimental foi de 226,6 W e o valor teórico de 193,1 W.

É importante referir que sem isolamento térmico as perdas dissipadas pelas resistências, determinadas experimentalmente, tomam o valor de 480 W já com um isolamento de 9 mm essas perdas apresentam o valor teórico de 650 W. Essa diferença é devida aos valores de emissividade, sendo que sem isolamento a emissividade das resistências é de 0,2 e com as mantas isolantes esse valor passa a 0,75, aumentando assim o valor da potencia térmica dissipada para o meio envolvente.

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

O objetivo deste trabalho foi o estudo energético de uma máquina de injeção de plásticos na empresa *Preh* Portugal.

Assim sendo, pode-se concluir que através da implementação das mantas térmicas isolantes se conseguiu uma diminuição da potência térmica dissipada de 45%, uma vez que a temperatura de superfície do cilindro de injeção reduziu de 262 para 111,5 °C.

Relativamente à energia elétrica consumida por parte das resistências da unidade 1 da máquina 29, com a colocação do isolante conseguiu-se reduzir os consumos de eletricidade em 20 % face às resistências e de 4% relativamente ao consumo global das máquinas, o que perfaz uma redução de 530 €/ano, aproximadamente.

No que diz respeito ao estudo teórico da variação da potência térmica perdida em função da espessura do isolamento, verifica-se uma diminuição das perdas térmicas com o aumento da espessura do isolante. Verifica-se também que, através da ferramenta *SOLVER* e utilizando a espessura efetiva do isolamento térmico utilizado, se obtém uma diferença de temperaturas. Assim sendo, teoricamente obtém-se uma temperatura de superfície de 102,1°C, já experimentalmente essa temperatura toma o valor de 111,5°C.

### ○ SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Como sugestões para trabalho futuro, propõe-se a realização do mesmo estudo para outras condições. Isto é, avaliar os consumos elétricos no inverno, visto que as resistências precisarão de mais energia para atingir as mesmas temperaturas que atingem no verão. Também seria uma mais valia dimensionar e implementar baterias de condensadores mais próximas do local de consumo, de modo a melhorar o valor do fator de potência dos equipamentos.

Uma vez que se consegui uma redução significativa dos consumos de energia elétrica, sugere-se também, a avaliação da implementação das mantas térmicas isolantes noutras unidades de produção. Após essa implementação também poderia ser realizado um estudo da influência das mantas térmicas isolantes na temperatura ambiente da secção de injeção de plásticos.



**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Preh – A empresa- <http://www.preh.com/> - acedido a 25-02-2016
- [2] Cronologia das matérias plásticas - <http://museo.cannon.com/museo/PORTOGHESE/default.htm> - acedido em 25-02-2016
- [3] P. Ricardo, “Injeção e Caracterização do Comportamento Mecânico de Polímeros Termoplásticos”, Tese de Mestrado, Coimbra, 2012.
- [4] S. Liliana, “Avaliação da Eficiência da Separação de Plásticos de Resíduos Sólidos Urbanos por Métodos de Dissolução Seletiva”, Tese de Mestrado, Guimarães, 2009
- [5] PMMA – <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/acrilico.asp> – acedido a 25-2-2016
- [6] PMMA Polimetilmetacrilato - <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pmma.html>– acedido a 26-02-2016
- [7] PC Policarbonato – <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pc.html>– acedido a 27-2-2016
- [8] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman e A. S. Lavine, “Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”, 6ª Edição, LTC, 2008
- [9] Santos A., “A energia reativa e a sua correção”, CENFIM , Trofa – versão PDF do ficheiro descarregado a 12-05-2016
- [10] A importância e as fases de uma auditoria energética – <http://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/> , João Ferreira, 2012– acedido a 23-03-2016
- [11] Dúvidas – [http://www.piereenergy.pt/?page\\_id=16](http://www.piereenergy.pt/?page_id=16) – acedido a 23-03-2016
- [12] Junio V., Wander P., Altafini C., “Redução do consumo de energia no cilindro de plastificação numa máquina injetora de plásticos” , VI Congresso nacional de Engenharia Mecânica, Brasil, 2010
- [13] Çengel Y. A., “Transferencia de Calor y Masa”, McGraw – Hill Education – Europe, 3ª edição, 2006

[14] Geankoplis C. J., “Procesos de transporte y principios de procesos de separación”, México, 4ª edição, 2006

[15] Câmara Termográfica Fluke Ti110 Industrial-Comercial - [www.fluke.com](http://www.fluke.com) – acedido a 17-03-2016

[16] Clausing L. T. , “Emissivity: Understanding the difference between apparent and actual infrared temperature”, 2007 – versão PDF do documento descarregado a 16-03-2016

[17] Analisadores de Qualidade de Potência Fluke 435 Série II - [www.fluke.com](http://www.fluke.com) – acedido a 17-03-2016

## ANEXO A – Exemplos de cálculo

### ➤ ANEXO A1 – LEVANTAMENTO ENERGÉTICO

Para o cálculo do consumo energético em tep, considerou-se que 1kW.h corresponde a  $215 \cdot 10^{-6}$  tep, assim sendo:

$$2116038 \text{ kW.h} \rightarrow 454,95 \text{ tep}$$

Para o cálculo da intensidade carbónica considerou-se um fator de emissão de gases com efeito de estufa para a energia elétrica de 0,47 kg CO<sub>2</sub>/kW.h. Deste modo:

$$2116038 \text{ kW.h} \rightarrow 994537,86 \text{ kg CO}_2$$

$$\frac{94537,86 \text{ kg CO}_2}{454,95 \text{ tep}} = 2186,04 \text{ kg CO}_2/\text{tep}$$

### ➤ ANEXO A2 – POTÊNCIA TÉRMICA DISSIPADA POR CONVECÇÃO

Na tabela A1 encontram-se representadas as propriedades do ar 419 e 388,5 K que são as temperaturas médias do fluido necessárias ao cálculo da potência térmica dissipada.

Tabela A1 – Propriedades do ar. [8]

Propriedades	T=419 K	T=388,5 K
<b>Coef. Expansão Térmica (K<sup>-1</sup>)</b>	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
<b>Massa volúmica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,8424	0,900
<b>Viscosidade dinâmica (Pa.s)</b>	$230,1 \cdot 10^{-7}$	$225,0 \cdot 10^{-7}$
<b>Condutividade térmica (W/m.K)</b>	$34,6 \cdot 10^{-3}$	$32,9 \cdot 10^{-3}$
<b>Difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s)</b>	$43,6 \cdot 10^{-6}$	$36,4 \cdot 10^{-6}$
<b>Número de Prandlt</b>	0,6892	0,6923

Tal como referido, o cilindro de injeção é dividido em duas zonas, a que contém as resistências e a zona do cilindro livre. Assim sendo, com os dados da tabela A1 e através das equações (2.3, 2.4 e 2.5) determinou-se o valor do *Rayleigh*, do coeficiente de transferência de calor e, conseqüentemente, o valor da potência térmica perdida por convecção, utilizando as especificações das resistências da máquina 29.

Substituindo os valores têm-se que:

$$Ra_D = \frac{9,8 \times 2,4 \times 10^{-3} \times (262 - 30) \times 0,125^3}{\frac{230 \times 10^{-7}}{0,8424} \times 43,6 \times 10^{-6}} \leftrightarrow Ra_D = 8,89 \times 10^6$$

$$Nu = \frac{h \times 0,125}{34,6 \times 10^{-3}} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \times (8,8 \times 10^6)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{0,6892} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \leftrightarrow h = 7,53 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Com o valor de h e através da equação (2.3) calculou-se o valor da potência térmica dissipada por convecção através das resistências do cilindro da máquina 29.

$$q_{conv} = 7,53 \times \pi \times 0,125 \times 0,475 \times (262 - 30)$$

$$q_{conv} = 325,01 W$$

#### ➤ ANEXO A3 – POTÊNCIA TÉRMICA DISSIPADA POR RADIAÇÃO

Uma vez que as emissividades dos materiais são diferentes e que a área de transferência de calor também o é, o exemplo de cálculo seguinte diz respeito à potência térmica dissipada por radiação através das resistências no cilindro da máquina 29. Assim sendo, considerando a área das resistências de  $0,187 m^2$  e a emissividade do material de 0,2, através da equação (2.6):

$$q = 0,187 \times 0,2 \times 5,67 \times 10^{-8} \times ((262 + 273)^4 - (30 + 273)^4)$$

$$\leftrightarrow q = 154,97 W$$

#### ➤ ANEXO A4 - AVALIAÇÃO DOS GANHOS ENERGÉTICOS

Considerando uma redução energética de 30% com a utilização de mantas e o valor de 0,10€ para o preço de 1kW.h de energia, segue-se um exemplo de cálculo para a avaliação dos ganhos anuais com a utilização de isolamento na máquina DEMAG 29. Foi considerado também, que a máquina de injeção piloto funciona 24 horas por dia, 5,5 dias por semana e 50 semanas por ano.

$$\text{Poupança anual} = 28,52 \frac{\text{kW.h}}{\text{dia}} \times 0,10 \frac{\text{€}}{\text{kW.h}} \times 5,5 \frac{\text{dias}}{\text{semana}} \times 50 \frac{\text{semanas}}{\text{ano}}$$

$$\text{Poupança anual} = 784,25 \text{ €}$$



## ANEXO B - Ensaios relativos à máquina *DEMAG 29* – sem isolamento térmico.

### ➤ ANEXO B1 – CONSUMO ENERGÉTICO GLOBAL

Para determinar o consumo de energia global da máquina 29, deixou-se um medidor de energia trifásico na unidade, de modo a quantificar esses valores. As tabelas B1 a B3 mostram os ensaios realizados.

Tabela B1 – Consumo global da máquina 29 - ensaio 1.

Tempo (min)	Potência Total Média (W)	Energia Total Média (W.h)
0	18900	5000
15	18900	9000
30	18800	14000
45	18800	19000
60	18700	24000
75	18700	28000
90	18700	33000
105	18600	38000
120	18600	42000
135	18600	47000
150	18600	51000
165	18600	56000
180	18500	61000
195	18500	65000
210	18500	70000
225	18400	75000
240	18500	79000
255	18600	84000
270	18500	89000
285	18400	93000
300	18400	98000

315	18400	102000
330	18500	107000
345	18500	112000
360	18600	116000
375	18600	121000
390	18500	126000
405	18500	130000
420	18500	135000
435	17700	139000
450	17400	144000
465	18600	148000
480	18600	153000
495	18600	157000
510	18600	162000
525	18700	167000
540	18600	171000
555	18500	176000
570	18700	181000
585	18600	185000
600	18600	190000
615	18500	195000
630	18800	199000
645	18700	204000
660	18700	209000
675	18600	213000
690	18600	218000
705	18700	223000
720	18700	227000
735	18600	232000
750	18600	237000

765	18500	241000
780	18500	246000
795	18500	251000
810	18500	255000
825	18500	260000
840	18500	264000
855	18400	269000
870	18500	274000
885	18500	278000
900	18500	283000
915	18500	288000
930	18600	292000
945	18600	297000
960	18500	301000
975	18600	306000
990	18600	311000
1005	18700	315000
1020	18700	320000
1035	18800	325000
1050	18800	330000
1065	18800	334000
1080	18700	339000
1095	18800	344000
1110	18800	348000
1125	18700	353000
1140	18700	358000
1155	18700	362000
1170	18700	367000
1185	18700	372000
1200	18800	376000

1215	18800	381000
1230	18800	386000
1245	18800	391000
1260	18800	395000
1275	18900	400000
1290	18800	405000
1305	18800	409000
1320	18900	414000
1335	19000	419000
1350	18900	424000
1365	18900	428000
1380	18900	433000
1395	18900	438000
1410	18800	442000
1425	18900	447000
1440	18900	452000

Na tabela B2 encontram-se representados os consumos da máquina 29, relativos ao ensaio 2. Este ensaio também foi realizado utilizando a mesma matéria-prima e os dados, tal como no ensaio 1, foram recolhidos de 15 em 15 minutos.

**Tabela B2** – Consumo global da máquina 29 - ensaio 2.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
0	18800	457000
15	18300	461000
30	9900	464000
45	9400	466000
60	8300	468000
75	11500	471000
90	24600	477000
105	24000	483000

120	23400	489000
135	22000	494000
150	23300	500000
165	22800	506000
180	22500	512000
195	22300	517000
210	22200	523000
225	22000	528000
240	22000	534000
255	21900	539000
270	21900	545000
285	21800	550000
300	21700	556000
315	21600	561000
330	21700	566000
345	21600	572000
360	21600	577000
375	21600	583000
390	21700	588000
405	22000	594000
420	21900	599000
435	21900	605000
450	21900	610000
465	21900	615000
480	21800	621000
495	21900	626000
510	21900	632000
525	21900	637000
540	22000	643000
555	21600	648000

<b>570</b>	21600	654000
<b>585</b>	21600	659000
<b>600</b>	21600	665000
<b>615</b>	21500	670000
<b>630</b>	21600	675000
<b>645</b>	21600	681000
<b>660</b>	21700	686000
<b>675</b>	21600	692000
<b>690</b>	21700	697000
<b>705</b>	21700	702000
<b>720</b>	21600	708000
<b>735</b>	21700	713000
<b>750</b>	21500	719000
<b>765</b>	21600	724000
<b>780</b>	21600	729000
<b>795</b>	21700	735000
<b>810</b>	21600	740000
<b>825</b>	21600	746000
<b>840</b>	21700	751000
<b>855</b>	21700	756000
<b>870</b>	21700	762000
<b>885</b>	21600	767000
<b>900</b>	21700	773000
<b>915</b>	21700	778000
<b>930</b>	21800	784000
<b>945</b>	21700	789000
<b>960</b>	21700	794000
<b>975</b>	21700	800000
<b>990</b>	21700	805000
<b>1005</b>	21800	811000

1020	21700	816000
1035	21800	822000
1050	21700	827000
1065	21800	832000
1080	21700	838000
1095	21800	843000
1110	21800	849000
1125	21800	854000
1140	21800	860000
1155	21800	865000
1170	21900	871000
1185	21700	876000
1200	21900	881000
1215	21800	887000
1230	20600	892000
1245	21900	898000
1260	21800	903000
1275	21700	908000
1290	21900	914000
1305	21500	919000
1320	21800	925000
1335	21900	930000
1350	21800	936000
1365	21800	941000
1380	21700	947000
1395	21700	952000
1410	21700	957000
1425	21700	963000
1440	21600	968000

Na tabela B3 encontra-se representado o terceiro e último ensaio realizado na máquina 29, de modo a determinar qual o consumo da mesma.

**Tabela B3** – Consumo global da máquina 29 – ensaio 3.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
0	21600	974000
15	21600	979000
30	21600	984000
45	21500	990000
60	21400	995000
75	21500	1001000
90	21500	1006000
105	21500	1011000
120	21500	1017000
135	21600	1022000
150	21700	1027000
165	21600	1033000
180	21600	1038000
195	21500	1044000
210	21600	1049000
225	21600	1054000
240	21600	1060000
255	21600	1065000
270	21500	1071000
285	21500	1076000
300	21600	1081000
315	16200	1085000
330	11200	1088000
345	6000	1090000
360	19000	1094000

375	17200	1099000
390	20500	1104000
405	20400	1109000
420	20100	1114000
435	19900	1119000
450	19700	1124000
465	19600	1129000
480	19600	1134000
495	19400	1139000
510	19500	1143000
525	19400	1148000
540	19400	1153000
555	19500	1158000
570	19500	1163000
585	19500	1168000
600	19500	1173000
615	19400	1177000
630	19400	1182000
645	19400	1187000
660	19300	1192000
675	19400	1197000
690	19400	1202000
705	19300	1207000
720	19400	1211000
735	19300	1216000
750	19300	1221000
765	19400	1226000
780	19300	1231000
795	19300	1235000
810	19200	1240000

<b>825</b>	19200	1245000
<b>840</b>	19200	1250000
<b>855</b>	19200	1255000
<b>870</b>	19200	1259000
<b>885</b>	19200	1264000
<b>900</b>	19200	1269000
<b>915</b>	19200	1274000
<b>930</b>	19200	1279000
<b>945</b>	19200	1283000
<b>960</b>	19200	1288000
<b>975</b>	19200	1293000
<b>990</b>	19200	1298000
<b>1005</b>	19200	1303000
<b>1020</b>	19200	1307000
<b>1035</b>	19200	1312000
<b>1050</b>	19200	1317000
<b>1065</b>	19200	1322000
<b>1080</b>	19200	1327000
<b>1095</b>	19200	1331000
<b>1110</b>	19200	1336000
<b>1125</b>	19300	1341000
<b>1140</b>	19200	1346000
<b>1155</b>	19300	1351000
<b>1170</b>	19200	1356000
<b>1185</b>	18200	1360000
<b>1200</b>	18300	1365000
<b>1215</b>	19200	1369000
<b>1230</b>	18600	1374000
<b>1245</b>	19100	1379000
<b>1260</b>	19100	1384000

1275	19200	1388000
1290	19100	1393000
1305	19100	1398000
1320	19100	1403000

Na tabela B4 encontra-se representado o valor médio da energia diária consumida na máquina 29, usando os valores das tabelas B1, B2 e B3.

**Tabela B4** - Resultados dos ensaios globais – DEMAG 29.

	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
<b>Duração do ensaio (h)</b>	24,00	24,00	22,00
<b>Consumo de Energia (kW.h)</b>	447,00	511,00	429,00
<b>Consumo diário de Energia (kW.h)</b>	447,00	511,00	468,00
<b>Média da energia diária consumida (kW.h)</b>	475,33		

Assim sendo, através da tabela B1 é possível estimar-se o consumo global diário médio de energia para a máquina piloto DEMAG 29, relativo ao ensaio 1.

$$\text{Energia consumida} = \text{Energia final} - \text{Energia inicial}$$

$$\leftrightarrow \text{Energia consumida} = 452000 - 5000$$

$$\leftrightarrow \text{Energia consumida} = 447000 \text{ W.h}$$

## ➤ ANEXO B2 - CONSUMO ENERGÉTICO DAS RESISTÊNCIAS

Para determinar o consumo de energia por parte das resistências instaladas na unidade 1, deixou-se um medidor de energia trifásico na unidade, de modo a quantificar esses valores. As tabelas seguintes mostram os ensaios realizados para a máquina 29.

**Tabela B5** – Consumo das resistências da máquina 29 – ensaio 1.

Tempo (min)	Potência Total Média (W)	Energia Total Média (W.h)
0	3900	32000
15	3800	33000
30	3800	34000

45	3800	35000
60	3900	36000
75	3900	37000
90	3900	38000
105	3900	39000
120	3900	40000
135	4000	41000
150	3900	42000
165	3900	43000
180	3900	44000
195	4000	45000
210	4000	46000
225	4000	47000
240	3900	48000
255	4000	49000
270	3900	50000
285	4000	51000
300	4000	52000
315	3900	53000
330	4000	54000
345	4000	55000
360	4000	56000
375	3900	57000
390	3900	58000
405	3900	59000
420	3900	60000
435	3900	61000
450	3900	62000
465	3400	63000
480	3900	64000

495	3900	65000
510	3800	66000
525	3800	67000
540	3900	68000
555	3900	69000
570	3800	70000
585	3800	71000
600	3800	72000
615	3900	73000
630	3900	74000
645	3800	75000
660	3900	76000
675	3900	77000
690	3800	78000
705	3800	79000
720	3900	80000
735	3900	81000
750	3900	82000
765	3900	83000
780	4000	84000
795	3900	85000
810	3900	86000
825	3900	87000
840	3900	87000
855	3900	88000
870	3900	89000
885	3900	90000
900	4000	91000

Na tabela B6 encontram-se representados os resultados obtidos no segundo ensaio efetuado, sendo que os registos foram efetuados de 15 em 15 minutos.

**Tabela B6 – Consumo das resistências da máquina 29 – ensaio 2.**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
<b>0</b>	4000	1000
<b>15</b>	3900	2000
<b>30</b>	3900	3000
<b>45</b>	3900	4000
<b>60</b>	3900	5000
<b>75</b>	3900	6000
<b>90</b>	3900	7000
<b>105</b>	3900	8000
<b>120</b>	3900	9000
<b>135</b>	4000	10000
<b>150</b>	3900	11000
<b>165</b>	3900	12000
<b>180</b>	4000	13000
<b>195</b>	3900	14000
<b>210</b>	4000	15000
<b>225</b>	4000	16000
<b>240</b>	4000	17000
<b>255</b>	4000	18000
<b>270</b>	4000	19000
<b>285</b>	4000	20000
<b>300</b>	4000	21000
<b>315</b>	4000	22000
<b>330</b>	4000	23000
<b>345</b>	4000	24000
<b>360</b>	4100	25000
<b>375</b>	4100	26000
<b>390</b>	4000	27000
<b>405</b>	4000	28000

<b>420</b>	3900	29000
<b>435</b>	4000	30000
<b>450</b>	4100	31000
<b>465</b>	4000	32000
<b>480</b>	4000	33000
<b>495</b>	4000	34000
<b>510</b>	4000	35000
<b>525</b>	4000	36000
<b>540</b>	3900	37000
<b>555</b>	3900	38000
<b>570</b>	4000	39000
<b>585</b>	4000	40000
<b>600</b>	4000	41000
<b>615</b>	4000	42000
<b>630</b>	4000	43000
<b>645</b>	4000	44000
<b>660</b>	4000	45000
<b>675</b>	4000	46000
<b>690</b>	4000	47000
<b>705</b>	3900	48000
<b>720</b>	4000	49000
<b>735</b>	4000	50000
<b>750</b>	4000	51000
<b>765</b>	4000	52000
<b>780</b>	4100	53000
<b>795</b>	4000	54000
<b>810</b>	4100	55000
<b>825</b>	4000	56000
<b>840</b>	4000	57000
<b>855</b>	4000	58000

<b>870</b>	4000	59000
<b>885</b>	3900	60000
<b>900</b>	4000	61000
<b>915</b>	4000	62000
<b>930</b>	4000	63000
<b>945</b>	3900	64000
<b>960</b>	3900	65000
<b>975</b>	3900	66000
<b>990</b>	4000	67000
<b>1005</b>	3900	68000
<b>1020</b>	3900	69000
<b>1035</b>	3900	70000
<b>1050</b>	3800	71000

Na tabela B7 encontram-se os resultados obtidos para o ensaio e efetuado na *DEMAG* 29, utilizando a mesma matéria-prima dos ensaios 1 e 2.

**Tabela B7** - Consumo das resistências da máquina 29 – ensaio 3.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
<b>0</b>	3900	1000
<b>15</b>	3900	2000
<b>30</b>	3900	3000
<b>45</b>	3900	4000
<b>60</b>	3900	5000
<b>75</b>	3900	6000
<b>90</b>	3900	7000
<b>105</b>	3900	8000
<b>120</b>	3900	9000
<b>135</b>	3900	10000
<b>150</b>	3900	11000
<b>165</b>	3900	12000

<b>180</b>	4000	13000
<b>195</b>	3900	14000
<b>210</b>	3900	15000
<b>225</b>	3900	16000
<b>240</b>	4000	17000
<b>255</b>	4100	18000
<b>270</b>	4000	19000
<b>285</b>	4100	20000
<b>300</b>	4000	21000
<b>315</b>	3900	22000
<b>330</b>	4000	23000
<b>345</b>	3900	24000
<b>360</b>	4000	25000
<b>375</b>	3900	26000
<b>390</b>	4000	27000
<b>405</b>	3900	28000
<b>420</b>	4000	29000
<b>435</b>	3900	30000
<b>450</b>	4000	31000
<b>465</b>	4000	32000
<b>480</b>	3900	33000
<b>495</b>	3900	34000
<b>510</b>	4000	35000
<b>525</b>	3900	36000
<b>540</b>	3900	37000
<b>555</b>	3900	38000
<b>570</b>	4000	39000
<b>585</b>	3900	40000
<b>600</b>	3900	41000
<b>615</b>	3900	42000

<b>630</b>	3900	43000
<b>645</b>	4000	44000
<b>660</b>	3900	45000
<b>675</b>	4000	46000
<b>690</b>	3900	46000
<b>705</b>	3900	47000
<b>720</b>	3900	48000
<b>735</b>	4000	49000
<b>750</b>	4000	50000
<b>765</b>	3900	51000
<b>780</b>	3900	52000
<b>795</b>	3900	53000
<b>810</b>	3900	54000
<b>825</b>	3900	55000
<b>840</b>	3900	56000
<b>855</b>	3900	57000
<b>870</b>	3900	58000
<b>885</b>	3900	59000
<b>900</b>	4000	60000
<b>915</b>	3900	61000
<b>930</b>	3900	62000
<b>945</b>	3900	63000
<b>960</b>	3900	64000
<b>975</b>	3900	65000
<b>990</b>	4000	66000
<b>1005</b>	3800	67000
<b>1020</b>	3600	68000
<b>1035</b>	3700	69000
<b>1050</b>	3800	70000
<b>1065</b>	3700	71000

<b>1080</b>	3800	72000
<b>1095</b>	3800	73000
<b>1110</b>	3900	74000
<b>1125</b>	3900	75000
<b>1140</b>	4000	76000
<b>1155</b>	4000	77000
<b>1170</b>	4100	78000

Assim sendo, através da tabela B5 é possível estimar-se o consumo diário médio de energia para a máquina piloto *DEMAG 29*, relativo ao ensaio 1.

$$\text{Energia consumida} = 91000 - 32000 \leftrightarrow \text{Energia consumida} = 59000 \text{ W.h}$$

$$\text{Consumo diário de energia} = \frac{59000 \times 24}{15} = 94400,00 \text{ W.h}$$

Na tabela B8 encontra-se representado o valor médio da energia diária consumida pelas resistências da unidade 1 da máquina 29, usando os valores das tabelas B6, B7 e B8.

**Tabela B8** - Resultados dos ensaios às resistências - *DEMAG 29*.

	<b>ENSAIO 1</b>	<b>ENSAIO 2</b>	<b>ENSAIO 3</b>
<b>Duração do ensaio (h)</b>	15,00	17,50	19,50
<b>Consumo de Energia (kW.h)</b>	59,00	70,00	77,00
<b>Consumo diário de Energia (kW.h)</b>	94,40	96,00	94,77
<b>Média da energia diária consumida (kW.h)</b>	95,06		

### ➤ ANEXO B3 - CONSUMO ENERGÉTICO DO MOTOR

Nas tabelas seguintes encontram-se os ensaios efetuados, de modo a avaliar-se o consumo de energia elétrica por parte do motor.

A tabela B9 diz respeito ao primeiro ensaio, com a duração de 15 horas e 30 minutos.

**Tabela B9** – Consumo do motor da máquina 29 – ensaio 1.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
0	5300	1000
15	8300	3000
30	7800	5000
45	7700	7000
60	6500	9000
75	8300	11000
90	8300	13000
105	8300	15000
120	7400	17000
135	8100	19000
150	8200	21000
165	8100	23000
180	8100	25000
195	8200	27000
210	8200	29000
225	8200	31000
240	8200	33000
255	8200	35000
270	8200	37000
285	8200	39000
300	8200	42000
315	8200	44000
330	8200	46000
345	8200	48000
360	8200	50000
375	8200	52000
390	8200	54000
405	8200	56000

<b>420</b>	8200	58000
<b>435</b>	8200	60000
<b>450</b>	8200	62000
<b>465</b>	8200	64000
<b>480</b>	8200	66000
<b>495</b>	8200	68000
<b>510</b>	8200	70000
<b>525</b>	8200	72000
<b>540</b>	8200	74000
<b>555</b>	8200	76000
<b>570</b>	8200	78000
<b>585</b>	4000	79000
<b>600</b>	5300	81000
<b>615</b>	7000	83000
<b>630</b>	8200	85000
<b>645</b>	8200	87000
<b>660</b>	8300	89000
<b>675</b>	8200	91000
<b>690</b>	8200	93000
<b>705</b>	8200	95000
<b>720</b>	5500	96000
<b>735</b>	8200	98000
<b>750</b>	7700	100000
<b>765</b>	8100	102000
<b>780</b>	8200	104000
<b>795</b>	8200	106000
<b>810</b>	8200	108000
<b>825</b>	8100	110000
<b>840</b>	8100	112000
<b>855</b>	8200	115000

<b>870</b>	7000	116000
<b>885</b>	4600	117000
<b>900</b>	7500	119000
<b>915</b>	8200	121000
<b>930</b>	4700	123000

Na tabela B10 encontram-se os resultados relativos ao segundo ensaio, com a duração de 15 horas e 45 minutos.

**Tabela B10** – Consumo do motor da máquina 29 – ensaio 2.

<b>Hora</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
<b>0</b>	4600	124000
<b>15</b>	6200	126000
<b>30</b>	8200	128000
<b>45</b>	8200	130000
<b>60</b>	5800	131000
<b>75</b>	8300	133000
<b>90</b>	8300	135000
<b>105</b>	8300	137000
<b>120</b>	8400	140000
<b>135</b>	8400	142000
<b>150</b>	8400	144000
<b>165</b>	8300	146000
<b>180</b>	8000	148000
<b>195</b>	8400	150000
<b>210</b>	8300	152000
<b>225</b>	8300	154000
<b>240</b>	8400	156000
<b>255</b>	8400	158000
<b>270</b>	8300	160000
<b>285</b>	8400	162000

<b>300</b>	8300	164000
<b>315</b>	8300	167000
<b>330</b>	8200	169000
<b>345</b>	8200	171000
<b>360</b>	8100	173000
<b>375</b>	8300	175000
<b>390</b>	8300	177000
<b>405</b>	8200	179000
<b>420</b>	8300	181000
<b>435</b>	8300	183000
<b>450</b>	8300	185000
<b>465</b>	8300	187000
<b>480</b>	8300	189000
<b>495</b>	8300	191000
<b>510</b>	8300	193000
<b>525</b>	8400	196000
<b>540</b>	8300	198000
<b>555</b>	8300	200000
<b>570</b>	8300	202000
<b>585</b>	8400	204000
<b>600</b>	8300	206000
<b>615</b>	8400	208000
<b>630</b>	7000	210000
<b>645</b>	8300	212000
<b>660</b>	8300	214000
<b>675</b>	8300	216000
<b>690</b>	8300	218000
<b>705</b>	8300	220000
<b>720</b>	8300	222000
<b>735</b>	8300	224000

750	8300	226000
765	8300	228000
780	8300	231000
795	8300	233000
810	8300	235000
825	8300	237000
840	8300	239000
855	8300	241000
870	7400	243000
885	8300	245000
900	8400	247000
915	8400	249000
930	8300	251000
945	4300	252000

Na tabela B11 encontram-se os resultados relativos ao terceiro ensaio, com a duração 24 horas.

**Tabela B11** – Consumo do motor da máquina 29 – ensaio 3.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
0	8300	2000
15	8300	4000
30	8400	6000
45	8300	8000
60	8300	10000
75	8400	13000
90	8400	15000
105	8400	17000
120	8300	19000
135	8400	21000
150	8400	23000

165	8400	25000
180	8400	27000
195	8400	29000
210	8500	31000
225	8400	34000
240	8400	36000
255	8400	38000
270	8400	40000
285	8400	42000
300	5900	43000
315	6700	45000
330	8400	47000
345	8400	49000
360	8500	51000
375	8300	54000
390	8400	56000
405	8400	58000
420	8300	60000
435	8400	62000
450	8400	64000
465	8400	66000
480	8300	68000
495	8400	70000
510	8500	72000
525	8300	74000
540	8400	77000
555	8400	79000
570	8300	81000
585	7400	83000
600	2400	83000

615	5400	85000
630	3500	85000
645	4100	86000
660	1900	87000
675	5800	88000
690	7800	90000
705	7800	92000
720	8500	94000
735	7800	96000
750	7800	98000
765	7900	100000
780	7800	102000
795	7900	104000
810	7800	106000
825	7900	108000
840	7800	110000
855	6000	112000
870	7800	114000
885	7900	116000
900	7900	118000
915	7800	119000
930	7900	121000
945	7900	123000
960	7900	125000
975	7900	127000
990	7900	129000
1005	7900	131000
1020	7900	133000
1035	7800	135000
1050	7900	137000

1065	7900	139000
1080	7900	141000
1095	7800	143000
1110	7900	145000
1125	7800	147000
1140	7900	149000
1155	7700	151000
1170	7800	153000
1185	7900	155000
1200	7800	157000
1215	7800	159000
1230	7200	161000
1245	7700	162000
1260	7900	164000
1275	7800	166000
1290	7800	168000
1305	7800	170000
1320	7900	172000
1335	7800	174000
1350	7800	176000
1365	7400	178000
1380	7800	180000
1395	7800	182000
1410	7800	184000
1425	7800	186000
1440	7900	188000

Na tabela B12 encontra-se representado o valor médio da energia diária consumida pelo motor da máquina 29, usando os valores das tabelas B9, B10 e B11.

**Tabela B12** - Resultados dos ensaios ao motor - *DEMAG 29*.

	<b>ENSAIO 1</b>	<b>ENSAIO 2</b>	<b>ENSAIO 3</b>
<b>Duração do ensaio (h)</b>	15,50	15,75	24,00
<b>Consumo de Energia (kW.h)</b>	122,00	128,00	186,00
<b>Consumo diário de Energia (kW.h)</b>	188,90	195,05	186,00
<b>Média da energia diária consumida (kW.h)</b>	189,98		

## ANEXO C – Ensaio relativos à máquina *ENGEL 26* – sem isolamento térmico.

### ➤ ANEXO C1 - CONSUMO ENERGÉTICO DAS RESISTÊNCIAS

Relativamente à máquina *ENGEL 26* foram realizados também 3 ensaios e esses resultados encontram-se nas tabelas seguintes.

**Tabela C1** – Consumo das resistências da máquina 26 – ensaio 1.

Tempo (min)	Potência Total Média (W)	Energia Total média (W.h)
0	5800	20000
15	3700	20000
30	3800	21000
45	4100	22000
60	4300	24000
75	4300	25000
90	4300	26000
105	4300	27000
120	4300	28000
135	4200	29000
150	4300	30000
165	4200	31000
180	4000	32000
195	3900	33000
210	4300	34000
225	4200	35000
240	4200	36000
255	4200	37000
270	4200	38000
285	4200	39000
300	4300	40000

315	4200	41000
330	4300	43000
345	3800	43000
360	4100	44000
375	4300	46000
390	4200	47000
405	4200	48000
420	4200	49000
435	4100	50000
450	4200	51000
465	4200	52000
480	4200	53000
495	3900	54000
510	4200	55000
525	4200	56000
540	4200	57000
555	4200	58000
570	4200	59000
585	4200	60000
600	4200	61000
615	3800	62000
630	4200	63000
645	3500	64000
660	3500	65000
675	4200	66000
690	4200	67000
705	4300	68000
720	4200	69000
735	4200	70000
750	4200	71000

<b>765</b>	4200	72000
<b>780</b>	4200	73000
<b>795</b>	4200	75000
<b>810</b>	4200	76000
<b>825</b>	4200	77000
<b>840</b>	4300	78000
<b>855</b>	4200	79000
<b>870</b>	4200	80000
<b>885</b>	4200	81000
<b>900</b>	4200	82000
<b>915</b>	4200	83000
<b>930</b>	4200	84000
<b>945</b>	4200	85000
<b>960</b>	4200	86000
<b>975</b>	4200	87000
<b>990</b>	4200	88000
<b>1005</b>	4300	89000
<b>1020</b>	4200	90000
<b>1035</b>	4200	91000
<b>1050</b>	4200	92000
<b>1065</b>	4200	93000
<b>1080</b>	4200	95000
<b>1095</b>	4200	96000
<b>1110</b>	4200	97000
<b>1125</b>	4200	98000
<b>1140</b>	4200	99000
<b>1155</b>	4200	100000
<b>1170</b>	4200	101000
<b>1185</b>	4200	102000
<b>1200</b>	4200	103000

1215	4200	104000
1230	4200	105000
1245	4200	106000
1260	4200	107000
1275	4200	108000
1290	4200	109000
1305	4200	110000
1320	4200	111000
1335	4200	112000
1350	4200	113000
1365	4200	115000
1380	4300	116000
1395	4200	117000
1410	4200	118000
1425	4200	119000
1440	4200	120000

A tabela C2 representa os resultados do ensaio 2 efetuado à máquina 26.

**Tabela C2** - Consumo das resistências da máquina 26 – ensaio 2.

Tempo (min)	Potência Total Média (W)	Energia Total média (W.h)
0	4200	121000
15	4200	122000
30	4100	123000
45	3400	124000
60	3400	125000
75	3600	126000
90	4200	127000
105	4200	128000
120	4200	129000
135	4200	130000

<b>150</b>	4200	131000
<b>165</b>	4100	132000
<b>180</b>	4200	133000
<b>195</b>	4200	134000
<b>210</b>	4100	135000
<b>225</b>	4200	136000
<b>240</b>	4200	137000
<b>255</b>	4200	138000
<b>270</b>	4200	139000
<b>285</b>	4200	140000
<b>300</b>	4200	141000
<b>315</b>	4100	142000
<b>330</b>	4100	143000
<b>345</b>	4200	144000
<b>360</b>	4200	145000
<b>375</b>	4100	146000
<b>390</b>	4200	147000
<b>405</b>	4100	148000
<b>420</b>	4100	150000
<b>435</b>	4200	151000
<b>450</b>	4100	152000
<b>465</b>	4100	153000
<b>480</b>	4100	154000
<b>495</b>	4100	155000
<b>510</b>	4200	156000
<b>525</b>	4100	157000
<b>540</b>	4100	158000
<b>555</b>	3900	159000
<b>570</b>	4100	160000
<b>585</b>	4100	161000

<b>600</b>	4100	162000
<b>615</b>	4200	163000
<b>630</b>	4100	164000
<b>645</b>	4100	165000
<b>660</b>	4200	166000
<b>675</b>	4200	167000
<b>690</b>	4200	168000
<b>705</b>	4200	169000
<b>720</b>	4000	170000
<b>735</b>	4000	171000
<b>750</b>	4200	172000
<b>765</b>	4200	173000
<b>780</b>	4200	174000
<b>795</b>	4200	175000
<b>810</b>	4200	176000
<b>825</b>	4200	177000
<b>840</b>	4200	178000
<b>855</b>	4200	180000
<b>870</b>	4200	181000
<b>885</b>	4200	182000
<b>900</b>	4200	183000
<b>915</b>	4200	184000
<b>930</b>	3800	185000
<b>945</b>	3500	185000
<b>960</b>	3500	186000
<b>975</b>	3500	187000
<b>990</b>	3400	188000
<b>1005</b>	3500	189000
<b>1020</b>	3500	190000
<b>1035</b>	3400	191000

<b>1050</b>	3400	192000
<b>1065</b>	3500	192000
<b>1080</b>	3500	193000
<b>1095</b>	3500	193000

Relativamente ao ensaio 3 realizado na *ENGEL 26*, os resultados apresentam-se na tabela C3.

**Tabela C3** – Consumo das resistências da máquina 26 – ensaio 3.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total média (W)</b>	<b>Energia Total média (W.h)</b>
<b>0</b>	3500	1000
<b>15</b>	3900	2000
<b>30</b>	4200	3000
<b>45</b>	4200	4000
<b>60</b>	4000	5000
<b>75</b>	4300	6000
<b>90</b>	2700	7000
<b>105</b>	4300	8000
<b>120</b>	3600	9000
<b>135</b>	4200	10000
<b>150</b>	4200	11000
<b>165</b>	4300	12000
<b>180</b>	4300	13000
<b>195</b>	4300	14000
<b>210</b>	4300	15000
<b>225</b>	4300	16000
<b>240</b>	4300	17000
<b>255</b>	4300	18000
<b>270</b>	4200	19000
<b>285</b>	4200	20000
<b>300</b>	4300	21000

315	4200	23000
330	4300	24000
345	4200	25000
360	4300	26000
375	4300	27000
390	4300	28000
405	4300	29000
420	4200	30000
435	4200	31000
450	4200	32000
465	4200	33000
480	4200	34000
495	4200	35000
510	4200	36000
525	4200	37000
540	4200	38000
555	4200	39000
570	4200	40000
585	4200	41000
600	4200	42000
615	4200	44000
630	4200	45000
645	4200	46000
660	4100	47000
675	4200	48000
690	4200	49000
705	4200	50000
720	4100	51000
735	4200	52000
750	4200	53000

<b>765</b>	4100	54000
<b>780</b>	4100	55000
<b>795</b>	4100	56000
<b>810</b>	4200	57000

Na tabela C4 encontra-se representado o valor médio da energia diária consumida na máquina 26, usando os valores das tabelas C1, C2 e C3.

**Tabela C4** - Resultados dos ensaios realizados na máquina *ENGEL* 26.

	<b>ENSAIO 1</b>	<b>ENSAIO 2</b>	<b>ENSAIO 3</b>
<b>Duração do ensaio (h)</b>	18,25	24,00	13,50
<b>Consumo de Energia (kW.h)</b>	72,00	100,00	56,00
<b>Consumo diário de Energia (kW.h)</b>	94,68	24,00	99,56
<b>Média da energia diária consumida (kW.h)</b>	98,08		



## ANEXO D – Características dos equipamentos

### ➤ CÂMARA TERMOGRÁFICA

Para a determinação da emissividade dos materiais do cilindro de injeção foi utilizada uma câmara termográfica – *FLUKE* Ti110. Na tabela D1 encontram-se as principais especificações da mesma.

Tabela D1 – Especificações da câmara termográfica FLUKE Ti110 [15].

Resolução IR (dimensão de FPA)	FPA de 160 x 120 com microbolómetro não refrigerado
Banda espectral	7,5 µm a 14 µm (onda longa)
Velocidade de captura ou actualização	Versões de 9 Hz ou 30 Hz
NETD (sensibilidade térmica)	≤ 0,10 °C à temperatura-alvo de 30 °C (100 mK)
FOV (campo de visão)	22,5° H x 31° V
IFOV (resolução espacial)	3,39 mRad
Gama de medição de temperatura (não calibrada abaixo de -10 °C)	-20 °C a 250 °C (-4 °F a 482 °F)
Precisão de medição de temperatura	± 2 °C ou 2% (a 25 °C nominais, o que for superior)
Mecanismo de focagem	Sistema de focagem IR-OptiFlex™
Tecnologia IR Fusion®	PIP (Imagem-na-imagem), IR TOTAL, LUZ VISÍVEL TOTAL
Compatível com Fluke Connect	Sim
Alarmes de cor	Temperatura elevada
Paletes padrão	Azul-vermelho, Escala de cinzentos, Escala de cinzentos invertida, Alto contraste, Metal aquecido, Ironbow, Âmbar, Âmbar Invertido
Paletes Ultra Contrast™	Azul-vermelho, Escala de Cinzentos, Metal aquecido
Marcadores de quente/frio	—
Marcadores de local definidos pelo utilizador	Três na câmara e no SmartView®
Caixa central (MÍN./MÉD./MÁX.)	—
Controlo de nível e alcance	Manual e automático
Alcance mínimo em modo automático	5 °C
Alcance mínimo em modo manual	2,5 °C
Distância mínima de focagem de IR	15,25 cm (6 polegadas)
Peso	0,726 kg (1,6 lb)
Dimensões	28,4 x 8,6 x 13,5 cm (11,2 x 3,4 x 5,3 polegadas)

A determinação da emissividade dos materiais utilizando este equipamento pode ser feita de duas formas [16]:

- Através do cobrimento de parte do material com fita preta e, ao considerar essa parte como corpo negro consegue-se saber a emissividade do material por comparação das temperaturas da parte isolada com fita e a outra sem esse cobrimento.

- Por medição da temperatura de superfície do material com um termómetro de contacto e depois através da imagem da câmara termográfica e usando o *software* adequado consegue-se fazer o ajuste da temperatura e, deste modo, a emissividade do material.

### ➤ ANALISADOR DE QUALIDADE E DE POTÊNCIA

De modo a quantificar a energia consumida pelas unidades de injeção em estudo, foi colocado um medidor de energia trifásico nas máquinas piloto. Na tabela D2 encontram-se as principais especificações desse equipamento – *FLUKE 435*.

**Tabela D2** – Especificações do Medidor de Energia Trifásico – *FLUKE 435* [17].

	Modelo	Gama de medição	Resolução	Precisão
<b>Volts</b>				
<b>Vrms (ac+dc)</b>	435-II	1 V a 1000 V de fase a neutro	0,01 V	± 0,1% da tensão nominal <sup>****</sup>
<b>Vpk</b>		1 Vpk a 1400 Vpk	1 V	5% da tensão nominal
<b>Factor de crista de tensão (CF)</b>		1,0 > 2,8	0,01	± 5%
<b>Vrms½</b>	435-II		0,1 V	± 0,2% da tensão nominal
<b>Vfund</b>	435-II		0,1 V	± 0,1% da tensão nominal
<b>Amperes (precisão, excluindo a precisão das pinças)</b>				
<b>Amperes (AC + DC)</b>	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1:00 AM	± 0,5% ± 5 contagens
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5% ± 5 contagens
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 0,5% ± 5 contagens
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (apenas AC)	0,1 A	± 0,5% ± 5 contagens
<b>Apk</b>	i430-Flex	8400 Apk	1 Arms	± 5%
	1 mV/A	5500 Apk	1 Arms	± 5%
<b>Factor de crista A (CF)</b>		1 a 10	0,01	± 5%
<b>Amps½</b>	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 1% ± 10 contagens
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 1% ± 10 contagens
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 1% ± 10 contagens
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (apenas AC)	0,1 A	± 1% ± 10 contagens
<b>Afund</b>	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1:00 AM	± 0,5% ± 5 contagens
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5% ± 5 contagens
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 0,5% ± 5 contagens
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (apenas AC)	0,1 A	± 0,5% ± 5 contagens
<b>Hz</b>				
<b>Hz</b>	Fluke 435 @ 50 Hz nominal	42,500 Hz a 57,500 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435 @ 60 Hz nominal	51,000 Hz a 69,000 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
<b>Alimentação</b>				
<b>Watts (VA, var)</b>	i430-Flex	máx. 6000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1% ± 10 contagens
	1 mV/A	máx. 2000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1% ± 10 contagens
<b>Factor de potência (Cos φ/DPF)</b>		0 a 1	0,001	± 0,1% em condições de carga nominais

## ANEXO E – Características da manta térmica isolante (Jarry)

A figura E1 diz respeito às características das mantas térmicas isolantes utilizadas para diminuir a dissipação de calor nos cilindros de injeção.

<b>ELITEX 656 F111</b>	
- Composition / Composition :	100 % fibre de verre Fiberglass
- Poids / Weight :	640 g/m <sup>2</sup> (± 5 %) (DIN EN 12127)
- Epaisseur / Thickness :	0.85 mm (± 5 %) (DIN EN ISO 5084)
- Largeur / Width :	1000 mm (± 1 %) (DIN EN 1773)
- Chaîne / Warp :	6.8 fils/cm (± 3 %) (EN 1049-2)
- Trame / Weft :	5.8 fils/cm (± 3 %) (EN 1049-2)
- Résistance rupture chaîne / Breaking strength warp :	700 N/cm (± 10 %) (EN ISO 13934-1)
- Résistance rupture trame / Breaking strength weft :	600 N/cm (± 10 %) (EN ISO 13934-1)
- Armure /Weave :	Toile (ISO 9354)
- Traitement/Treatment :	Désensimage thermique
- Température maximale d'utilisation en continu sans contrainte mécanique / Maximum continuous temperature without mechanical stress	550 °C (Essai de four)
- Certification :	PMUC (EDF N°09-028)

Figura E1 – Características da manta térmica isolante.



## ANEXO F – Estudo energético após colocação das mantas térmicas isolantes

Nas tabelas seguintes encontram-se representados os consumos de energia das resistências que aquecem o cilindro da unidade 1 da máquina *DEMAG 29*.

A tabela F1 diz respeito ao primeiro ensaio realizado com isolamento térmico, com uma duração de 16h.

**Tabela F1** – Consumo das resistências da máquina 29 com isolamento térmico – ensaio 1.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
0	3400	4000
15	3100	5000
30	3300	5000
45	3300	6000
60	3300	7000
75	3300	8000
90	3300	9000
105	3300	9000
120	3300	10000
135	3300	11000
150	3300	12000
165	3300	13000
180	3300	14000
195	3200	14000
210	3300	15000
225	3300	16000
240	3300	17000
255	3300	18000
270	3300	19000
285	3300	19000
300	3300	20000

315	3300	21000
330	3300	22000
345	3300	23000
360	3300	23000
375	3300	24000
390	3300	25000
405	3300	25000
420	3300	26000
435	3300	27000
450	3300	27000
465	3300	28000
480	3300	29000
495	3300	30000
510	3300	30000
525	3300	31000
540	3200	32000
555	3300	33000
570	3300	34000
585	3300	35000
600	3200	35000
615	3300	36000
630	3300	37000
645	3300	38000
660	3300	38000
675	3200	39000
690	3300	40000
705	3300	41000
720	3300	42000
735	3300	42000
750	3300	43000

765	3300	43000
780	3300	44000
795	3300	45000
810	3200	46000
825	3200	47000
840	3200	48000
855	3300	48000
870	3300	49000
885	3200	50000
900	3200	51000
915	3300	52000
930	3200	53000
945	3200	53000

Na tabela F2 encontram-se os resultados relativos ao ensaio 2.

**Tabela F2** – Consumo das resistências da máquina 29 com isolamento térmico – ensaio 2.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
0	3400	83000
15	3300	83000
30	3400	84000
45	3400	85000
60	3300	86000
75	3300	87000
90	3300	88000
105	3300	88000
120	3300	89000
135	3400	90000
150	3300	91000
165	3400	92000
180	3400	93000

195	3300	93000
210	3100	94000
225	3400	95000
240	3400	96000
255	2800	96000
270	2000	97000
285	3400	98000
300	3200	99000
315	3400	100000
330	3400	100000
345	3400	101000
360	3400	102000
375	3400	103000
390	3400	104000
405	3300	105000
420	3400	105000
435	3300	106000
450	3200	107000
465	3300	108000
480	3400	109000
495	3300	109000
510	3300	110000
525	3300	111000
540	3400	112000
555	3300	113000
570	3300	113000
585	3300	114000
600	3300	115000
615	3400	116000
630	3300	117000

<b>645</b>	3100	118000
<b>660</b>	3400	118000
<b>675</b>	3400	119000
<b>690</b>	3400	120000
<b>705</b>	3400	121000
<b>720</b>	3400	122000
<b>735</b>	3000	123000
<b>750</b>	3400	123000
<b>765</b>	3400	124000
<b>780</b>	3300	125000
<b>795</b>	3400	126000
<b>810</b>	3400	127000
<b>825</b>	3400	127000
<b>840</b>	3400	128000
<b>855</b>	3400	129000
<b>870</b>	3400	129000
<b>885</b>	3300	130000
<b>900</b>	3400	131000
<b>915</b>	3400	132000
<b>930</b>	3300	132000
<b>945</b>	3400	133000
<b>960</b>	3300	134000
<b>975</b>	3400	135000
<b>990</b>	3400	135000
<b>1005</b>	3400	136000
<b>1020</b>	3400	137000
<b>1035</b>	3400	138000
<b>1050</b>	3400	139000
<b>1065</b>	3000	140000
<b>1080</b>	3400	140000

<b>1095</b>	3400	141000
<b>1110</b>	3400	142000
<b>1125</b>	2600	143000
<b>1140</b>	3500	143000
<b>1155</b>	3400	144000
<b>1170</b>	3300	145000
<b>1185</b>	3400	146000
<b>1200</b>	3400	147000
<b>1215</b>	3400	147000
<b>1230</b>	3300	148000
<b>1245</b>	3300	149000

Na tabela F3 encontram-se os resultados relativos ao ensaio 3.

**Tabela F3** – Consumo das resistências da máquina 29 com isolamento térmico – ensaio 3.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência Total Média (W)</b>	<b>Energia Total Média (W.h)</b>
<b>0</b>	3200	55000
<b>15</b>	3100	56000
<b>30</b>	3100	56000
<b>45</b>	3100	57000
<b>60</b>	3200	58000
<b>75</b>	3200	59000
<b>90</b>	3200	60000
<b>105</b>	2800	60000
<b>120</b>	3200	61000
<b>135</b>	3200	62000
<b>150</b>	2700	63000
<b>165</b>	2900	63000
<b>180</b>	3300	64000
<b>195</b>	3200	65000
<b>210</b>	3200	66000

225	2500	66000
240	3000	67000
255	3400	68000
270	3300	69000
285	3300	70000
300	3300	70000
315	2900	71000
330	3300	72000
345	3100	73000
360	3000	74000
375	3100	74000
390	3300	75000
405	3200	76000
420	2900	77000
435	3300	78000
450	3100	78000
465	3000	79000
480	3200	80000
495	3300	81000
510	3300	81000
525	3200	82000
540	3300	83000
555	3200	84000
570	3200	85000
585	3200	85000
600	3200	86000
615	3200	87000
630	3200	88000
645	3200	89000
660	3200	89000

675	3200	90000
690	2700	91000
705	3400	92000
720	3200	93000
735	3200	93000
750	3000	94000
765	3200	95000
780	3200	96000
795	3200	97000
810	3300	97000
825	3300	98000
840	3300	99000
855	3300	100000
870	3300	101000
885	3300	102000

Na tabela F4 encontra-se representado o valor médio da energia diária consumida pelas resistências da máquina 29, usando os valores das tabelas F1, F2 e F3.

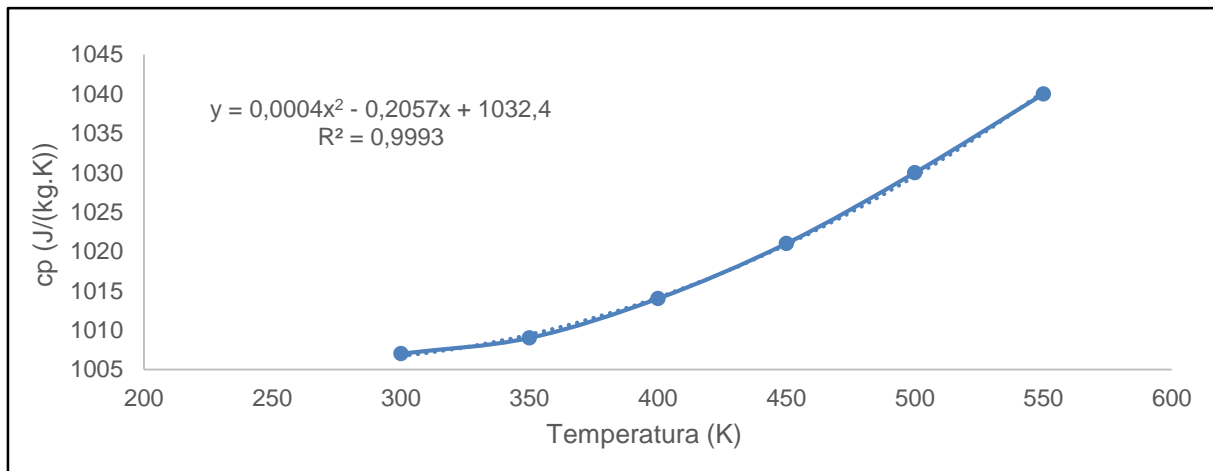
**Tabela F4** - Resultados dos ensaios das resistências com isolamento - DEMAG 29.

	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
<b>Duração do ensaio (h)</b>	15,75	20,75	14,75
<b>Consumo de Energia (kW.h)</b>	49,00	66,00	47,00
<b>Consumo diário de Energia (kW.h)</b>	74,67	76,34	76,47
<b>Média da energia diária consumida (kW.h)</b>	75,83		

## ANEXO G – Estudo teórico da variação da potência térmica perdida em função da espessura do isolante

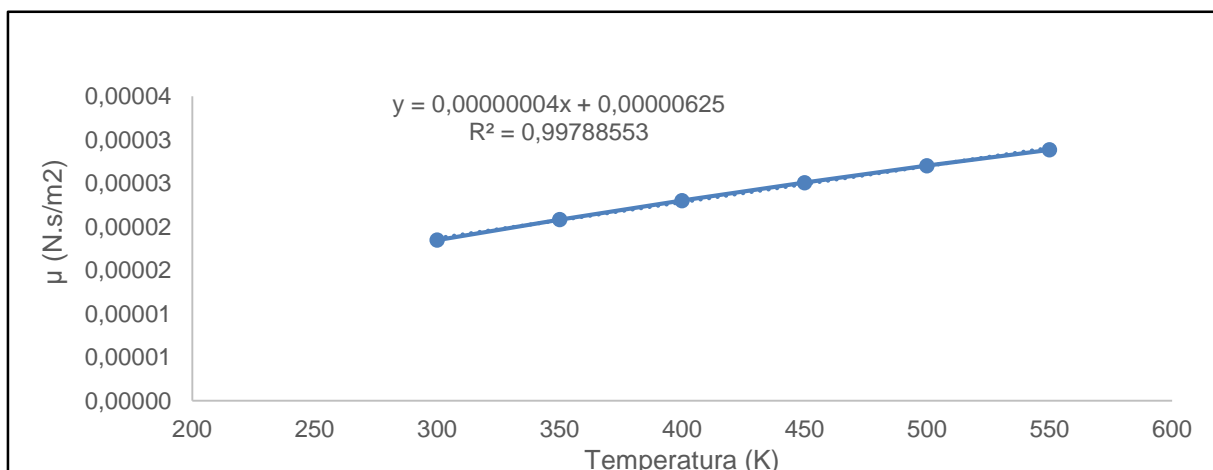
Os gráficos seguintes dizem respeito às propriedades do ar [8], para posteriormente se calcular o calor dissipado de acordo com a variação da temperatura de superfície do cilindro de injeção já isolado.

A figura G1 diz respeito à variação da capacidade térmica do fluido em função da variação da temperatura.



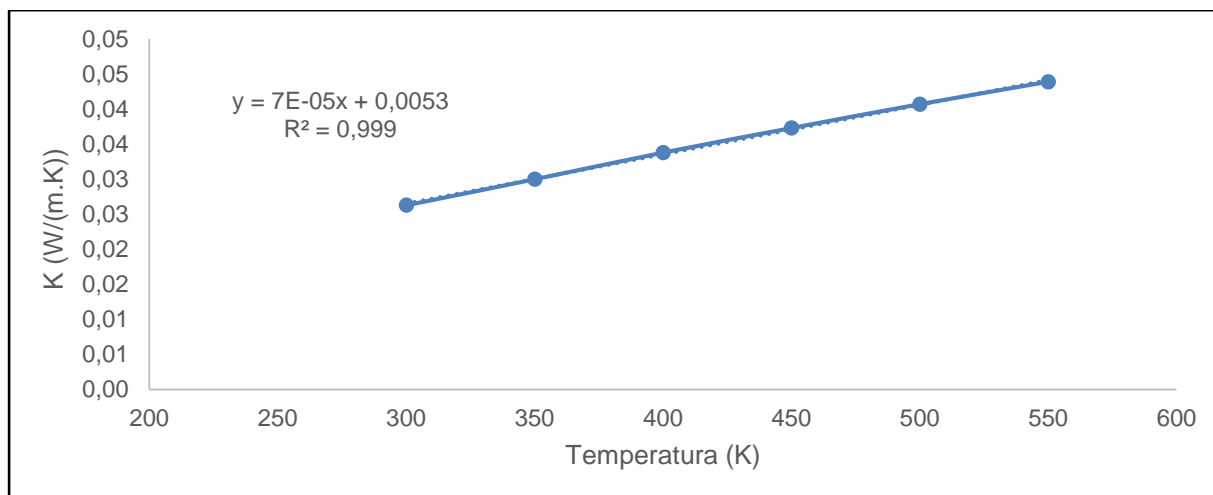
**Figura G1** – Variação da capacidade térmica do fluido em função da temperatura.

A figura G2 diz respeito à variação da viscosidade do fluido em função da variação da temperatura.



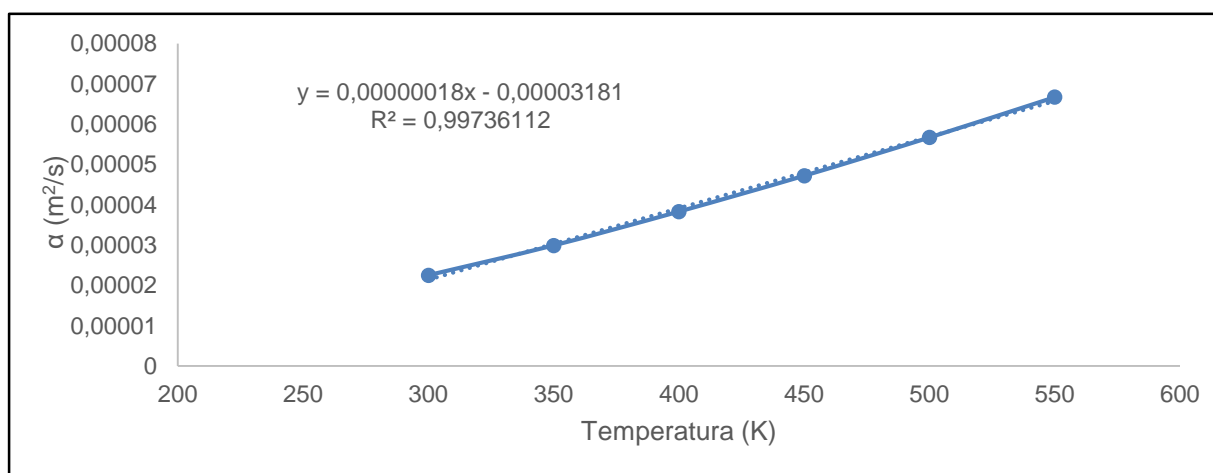
**Figura G2** – Variação da viscosidade do fluido em função da temperatura.

A figura G3 diz respeito à variação da condutividade térmica do fluido em função da variação da temperatura.



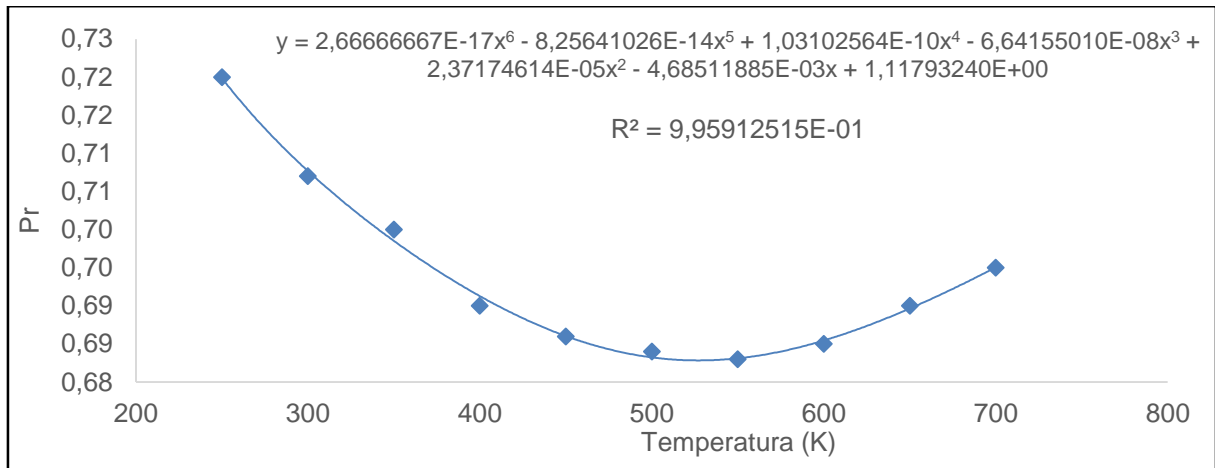
**Figura G3** – Variação da condutividade térmica do fluido em função da temperatura.

Na figura G4 encontra-se representada a variação da difusividade do fluido em função da variação da temperatura.



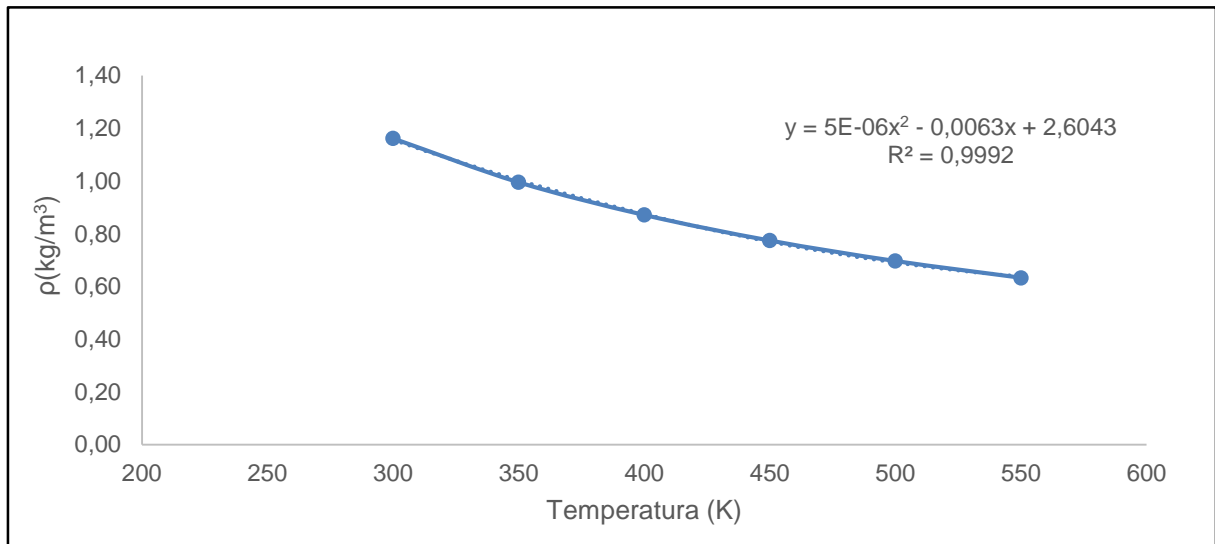
**Figura G4** – Variação da difusividade do fluido em função da temperatura.

Seguidamente encontra-se representado o gráfico relativo à variação do número de Prandtl em função da temperatura.



**Figura G5** – Variação do número de Prandtl em função da temperatura.

Na figura G6 encontra-se representada a variação da massa volúmica do fluido em função da temperatura.



**Figura G6** – Variação da massa volúmica do fluido em função da temperatura.

A tabela G1 diz respeito aos resultados obtidos no estudo teórico da variação da potência térmica dissipada em função da espessura do isolante térmico.

**Tabela G1** - Resultados do estudo teórico da espessura do isolamento térmico.

<b>h rad</b> <b>(W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>h conv</b> <b>(W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>h comb</b> <b>(W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>Rcond</b> <b>(K/W)</b>	<b>Rcomb</b> <b>(K/W)</b>	<b>Raio<sub>isol.</sub></b> <b>(m)</b>	<b>R<sub>2</sub> (m)</b>	<b>T<sub>2</sub>(K)</b>	<b>Qcond</b> <b>(W)</b>
<b>11,20</b>	7,30	18,50	6,90×10 <sup>-2</sup>	0,3	0,0007	0,063	490,4	650,8
<b>8,70</b>	6,80	15,50	2,60×10 <sup>-1</sup>	0,3	0,0027	0,065	433,1	391,4
<b>7,70</b>	6,40	14,10	4,50×10 <sup>-1</sup>	0,4	0,0047	0,067	405,6	290,0
<b>6,90</b>	6,00	12,90	7,20×10 <sup>-1</sup>	0,4	0,0077	0,070	382,0	213,9
<b>6,70</b>	5,90	12,60	8,28×10 <sup>-1</sup>	0,4	0,0090	0,0713	375,1	193,1
<b>6,50</b>	5,70	12,20	9,70×10 <sup>-1</sup>	0,4	0,0107	0,073	367,7	172,0
<b>6,30</b>	5,60	11,90	1,10	0,4	0,0127	0,075	360,8	153,0
<b>6,10</b>	5,40	11,50	1,30	0,4	0,0147	0,077	355,3	138,2
<b>5,90</b>	5,20	11,10	1,50	0,4	0,0177	0,080	348,7	121,4
<b>5,80</b>	5,00	10,80	1,80	0,4	0,0207	0,083	343,6	108,7
<b>5,60</b>	4,80	10,40	2,10	0,4	0,0247	0,087	338,4	96,0
<b>5,50</b>	4,70	10,20	2,30	0,4	0,0277	0,09	335,2	88,5
<b>5,40</b>	4,50	9,90	2,60	0,4	0,0327	0,095	331,0	78,8
<b>5,30</b>	4,30	9,60	2,90	0,3	0,0377	0,100	327,7	71,4
<b>5,20</b>	3,90	9,10	3,80	0,3	0,0527	0,115	321,2	56,8
<b>5,10</b>	3,60	8,70	4,50	0,3	0,0677	0,130	317,3	48,2