

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vítor Hugo Ferreira Faria

Desenvolvimento de um sistema de aquisição
de dados para um equipamento de vazamento
por centrifugação de eixo vertical

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Joaquim Barbosa

Co-Orientador
Professor Doutor Eurico Seabra

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todas as pessoas pelo apoio, encorajamento e assistência demonstrada no desenvolvimento da minha dissertação.

Em especial gostava de agradecer aos meus pais e à minha irmã o apoio, incentivo, aconchego e muita paciência que evidenciaram ao longo da minha carreira profissional e académica, sem eles e a sua ajuda financeira não teria conseguido. Agradeço também à minha namorada pelo estímulo e apoio incondicional que me deu ao longo deste trabalho.

Congratulo publicamente a minha enorme reverência e admiração pelos Professores Doutores José Joaquim Barbosa e Eurico Augusto Rodrigues Seabra, agradeço por terem aceitado serem meus orientadores da dissertação, por me terem imprimido um espírito crítico, empreendedor e pela sua disponibilidade ao longo de todo o trabalho.

Quero ainda agradecer ao Sr. Engenheiro Hélder Puga pelo apoio na realização deste trabalho, dado que se demonstrou um elemento fundamental para a realização do mesmo, evidenciando sempre um grande apreço pelo meu trabalho, tendo criticado e realizado sugestões valiosas quando era necessário.

Agradeço também ao Sr. Abílio, Sr. Araújo e Sr. Vítor Neto pela ajuda prestada nas oficinas.

Quero felicitar o pessoal do laboratório de materiais pela sua disponibilidade e fornecimento de recursos aos quais sem estes o trabalho não seria possível.

Agradeço à Universidade do Minho por me ter facultado os meios necessários ao desenvolvimento de um conjunto de aptidões durante a minha vida académica e espero que nunca se rompa esta ligação no futuro.

Também agradeço aos meus colegas todo o apoio disponibilizado e aproveito a oportunidade para lhes desejar um futuro jubiloso.

Brindo a Deus por me ter criado porque sem ele não teria todas estas minhas aptidões e não poderia dar o meu contributo para um mundo melhor.

Finalizo, dedicando a minha tese a todas estas pessoas aqui mencionadas.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema de aquisição de dados sem fios para um sistema em rotação, em que as ligações entre sensores e receptor não podem ser cabladas e como não existem este tipo de mecanismos versáteis disponíveis no mercado, optou-se pela sua construção.

O problema fica mais complexo quando se quer implementar este sistema num equipamento de vazamento por centrifugação, em que as temperaturas são elevadas e se tem de balancear entre parâmetros associados ao processo de fundição, materiais com gradiente funcional de propriedades e equipamento já construído.

A finalidade deste trabalho passa, então, pelo desenvolvimento de uma unidade de aquisição de temperaturas sem fios, que funcione com o equipamento de vazamento existente no Departamento de Engenharia Mecânica, monitorizando em tempo real a variação de temperatura do metal no interior da coquilha.

A realização deste trabalho passou por várias fases, nomeadamente:

Numa primeira fase realizou-se um estudo exaustivo sobre a constituição, materiais e funcionamento do equipamento de vazamento por fundição centrífuga e procedeu-se à reparação do equipamento que se danificou durante um incêndio que ocorreu em vários laboratórios do departamento.

Posteriormente, procedeu-se a uma pesquisa sobre o processo de fundição em coquilha por centrifugação, materiais com gradiente funcional de propriedades, características do alumínio, fundição com ligas de alumínio, bem como sobre a constituição e características de sistemas de aquisição de dados para monitorização da temperatura.

Numa segunda fase, elaborou-se uma investigação minuciosa de todo o processo em si para determinar as características e especificações da medição da temperatura e do sistema de aquisição de dados. Com esta investigação procurou-se determinar a melhor solução para corresponder às exigências com a minimização do seu custo.

Na terceira fase, procedeu-se à selecção e construção do sistema de aquisição de dados e de todas as peças e modificações no equipamento para acoplar o sistema.

Numa última fase, realizaram-se ensaios estáticos de vazamentos e seguidamente, após serem feitas adequadas alterações, efectuaram-se posteriormente ensaios na máquina em rotação, tendo-se conseguido monitorizar a temperatura em tempo real do metal no interior da coquilha.

O sistema de aquisição de dados permitirá futuramente investigar e estudar exhaustivamente a influência da temperatura no processo e o momento ideal para o vazamento da segunda liga para permitir a obtenção de um material com gradiente funcional de propriedades adequado a determinada aplicação.

ABSTRACT

This project presents the development, design and implementation of a data acquisition system for a rotating mechanical system. Links between sensor and receiver cannot be by wires and there are no such mechanisms versatile commercially available. Thus, was decided to build one.

The problem becomes more complex when one wants to implement this system to a centrifugal casting equipment where temperatures are high and we have to have a balance between the parameters associated with the casting process, materials with functional gradient properties and equipment ever built.

The aim of this work was thus the development of a wireless temperature acquisition unit, that can work with the equipment that exists at the Mechanical Engineering Department of University Minho with real-time monitoring of the temperature variation of the casting inside the metallic mould.

Initially there was a comprehensive study on the constitution, operation of materials and equipment for casting and spin casting proceeded to repair equipment that was damaged during a fire in the laboratories of the department.

Thereafter began a search for permanent mold casting process by centrifugation, gradient materials with functional properties, and characteristics of aluminium casting alloys.

Finally research gathered on types, formation and characteristics of data acquisition systems for monitoring temperature.

Then began the phase of complete investigation of the process itself to determine the features and specifications of the temperature measurement and data acquisition system and its coupling to the equipment.

This research sought to determine the best solution to meet the requirements with minimum cost.

After carrying out the selection, we proceeded to build the data acquisition system and all parts and equipment modifications to engage the system.

Then held static testing for leaks after doing some changes.

Finally, tests were performed in rotating machine having managed to monitor real-time temperature in the metal inside the mould, this will allow future thoroughly investigate and study the influence of temperature and the ideal time for casting the second alloy to generate a material with a functional gradient of properties.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iii
Resumo.....	iv
Abstract	vi
Índice geral	viii
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xiii
Índice de gráficos	xiv
Nomenclatura.....	xv
Glossário.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivo	2
1.2. Estrutura da tese	2
2. Equipamento de vazamento por fundição centrífuga	4
2.1. Sistema de transmissão de movimento	8
2.2. Sistema de arrefecimento	8
2.3. Sistema de aquecimento.....	9
2.4. Sistema de equilíbrio.....	10
2.5. Sistema de travagem e emergência	11
2.6. Estrutura anti-vibrações.....	11
2.7. Coquilha/Moldação permanente.....	11
2.8. Procedimento de funcionamento	13
3. Materiais com gradientes de propriedades	14
3.1. Conceito	14
3.2. Aplicações.....	15
3.3. Processos de fabrico existentes para a realização dos FGM's	15
3.4. Vantagens e desvantagens dos FGM's.....	16
4. Fundição centrífuga.....	17
4.1. Parâmetros que afectam as características de um fundido.....	19
4.2. Equipamentos de produção	19
4.3. Moldação permanente.....	19
4.3.1. Material da moldação	20
4.3.2. Sobreespessura do material dada a cavidade moldante	21
4.4. Especialização dos meios humanos	21
4.5. Equipamentos de análise e controlo.....	21
4.6. Controlo do processo	22
4.6.1. Temperatura de vazamento.....	22
4.6.2. Temperatura da moldação metálica	23
4.6.3. Revestimento da coquilha.....	23
<hr/>	
Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de	

4.6.4.	Força centrífuga e Velocidade de rotação	24
4.6.5.	Velocidade de arrefecimento.....	26
4.7.	Tipos de ligas a vaziar.....	26
5.	Sistema de aquisição de dados	27
5.1.	Arquitectura de um sistema de aquisição de dados e processamento de sinais	28
5.2.	Sensores e Transdutores	28
5.2.1.	Termómetro de dilatação de líquido	29
5.2.2.	Termómetro à dilatação de sólido (Termómetro bimetalico)	29
5.2.3.	Termómetros de pressão a gás.....	29
5.2.4.	RTD ou Termorresistência.....	30
5.2.5.	Termístor.....	30
5.2.6.	Termopares	30
5.2.7.	Pirómetro óptico	31
5.2.8.	Pirómetro de radiação	31
5.3.	Condicionamento de sinal.....	32
5.4.	Transmissão de sinal	34
5.4.1.	Transmissão de dados via Body	35
5.4.2.	Transmissão de dados via Wireless.....	36
5.5.	Computador (Processador)	38
5.6.	Software	38
5.7.	Programação do software.....	38
5.8.	Tipos de SAQD sem fios que existem no mercado.....	39
6.	Análise ao projecto.....	41
6.1.	Intervalo de medição	41
6.2.	Resolução	41
6.3.	Sensores de temperatura.....	41
6.4.	Taxa de aquisição da medição da temperatura	42
6.4.1.	Cálculo do tempo de solidificação pelo método de Chvorinov.....	43
6.4.2.	Cálculo do tempo de solidificação pelo Software Novaflow & Solid CV.....	46
6.5.	Vibração	55
6.6.	Efeito do campo eléctrico magnético	56
6.7.	Colocação do sistema de aquisição de dados na máquina	57
6.8.	Protecção do sistema de medição de temperatura.....	57
7.	Seleccção e plano de instalação do sistema de aquisição de dados	58
7.1.	Sensores/transdutores.....	58
7.1.1.	Protecção dos termopares.....	62
7.1.2.	Ponta do termopar.....	62
7.1.3.	Colocação na coquilha.....	63
7.1.4.	Calibração dos termopares	64
7.2.	Condicionamento de sinal.....	64
7.3.	Transmissão do sinal	65
7.3.1.	Alimentação	65
7.3.2.	Fixação.....	66
7.3.3.	Configuração DAQmx NI-DAQ para WLS/ENET-9163.....	66

7.4. Computador (Processador)	67
7.5. Software	67
7.5.1. Programação do software em LabVIEW	67
8. Construção e colocação do sistema de aquisição de dados no equipamento.....	69
8.1. Alterações na coquilha	69
8.2. Revestimento refractário	71
8.3. Alterações no veio	71
8.4. Colocação do sistema de aquisição de dados	71
9. Realização de testes	74
10. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	79
10.1. Conclusão	79
10.2. Sugestões para trabalhos Futuros.....	80
Bibliografia	81
Anexos	84
Anexo A – SAQD	85
Anexo B – Análise ao projecto	86
Anexo C – Selecção e plano de instalação do SAQD	89
Anexo D – Construção e colocação do SAQD no equipamento	92
Anexo E – Realização de testes	106
Anexo F – Desenhos Técnicos	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Máquina de vazamento por centrifugação <i>Nadjar C300 Pilat</i> [2].	4
Figura 2 – Máquina de vazamento por centrifugação da <i>Yasui VCC</i> [3].	4
Figura 3 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga [4].	5
Figura 4 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga noutra perspectiva [4].	5
Figura 5 – Projecto final do equipamento e componentes constituintes [4].	7
Figura 6 – Sistema de transmissão [4].	8
Figura 7 – Sistema de refrigeração [4].	9
Figura 8 – Sistema de aquecimento [4].	10
Figura 9 – Sistema de equilíbrio [4].	10
Figura 10 – Sistema de travagem [4].	11
Figura 11 – Vista explodida da coquilha.	12
Figura 12 – Bacia de vazamento.	12
Figura 13 – Microestrutura de um material com um gradiente funcional de propriedades.	14
Figura 14 – Solicitações a que a válvula está sujeita [4].	15
Figura 15 – Fundição centrífuga de eixo vertical.	18
Figura 16 – Espessura da moldação ou coquilha em função do diâmetro interno da moldação (adaptada) [16].	21
Figura 17 – Arquitectura de um sistema de aquisição de dados [24].	28
Figura 18 – Esquema de um transdutor eléctrico [25].	28
Figura 19 – Sinal antes e após o condicionamento de sinal [25].	32
Figura 20 – Exemplo de uma frequência de amostragem inadequada [22].	33
Figura 21 – Sinal analógico (cor cinza) e digital (cor preta) [23].	34
Figura 22 – Transmissor e condicionador de sinal para termopares <i>Omega</i> [30].	39
Figura 23 – Transmissor e condicionador de sinal para termopares da <i>Art-control</i> [31].	39
Figura 24 – Transmissor de sinal NI WIs/ENET-9163 [28].	40
Figura 25 – Cartão de condicionamento de sinal [28].	40
Figura 26 – Localização dos sensores na cavidade moldante.	48
Figura 27 – Tempo de solidificação para o teste P_{11} .	49
Figura 28 – Tempo de solidificação para o teste P_{M17} .	51
Figura 29 – Tempo de solidificação para o teste P_{M18} .	51
Figura 30 – Vista representativa de parte da coquilha com localização dos sensores.	54
Figura 31 – Provette com as posições dos sensores de temperatura.	55
Figura 32 – Montagem do sistema dos termopares sob o efeito do campo magnético.	59
Figura 33 – Termopar do tipo E [30].	61
Figura 34 – Protecção de termopar [30].	62

Figura 35 – Ponta de termopar exposta [35].	63
Figura 36 – Ligação dos fios do termopar [35].	63
Figura 37 – Colocação dos termopares na coquilha.	63
Figura 38 – Punção.	64
Figura 39 – Condicionador de sinal NI 9211 [28].	64
Figura 40 – Transmissor de sinal NIENET-9211 [28].	65
Figura 41 – Visualização da fixação do sistema de aquisição de dados.	66
Figura 42 – Painel frontal do programa desenvolvido no LabVIEW.	68
Figura 43 – Moldação inferior.	69
Figura 44 – Tacos aparafusados à coquilha.	69
Figura 45 – Moldação superior.	70
Figura 46 – Canal de descida ligado à moldação superior.	70
Figura 47 – Centragem das moldação superior com a inferior.	70
Figura 48 – Colocação das peças de junção no veio.	71
Figura 49 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga com o sistema de aquisição de dados.	72
Figura 50 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga com visualização do SAQD em pormenor.	72
Figura 51 – Sistema de aquisição de dados instalado na máquina.	73
Figura 52 – Provette obtido no ensaio número 2 estático.	76
Figura 53 – Ensaio número 2 efectuado no equipamento.	76
Figura 54 – Classificação dos sistemas de conversão [23].	85
Figura 55 – Diferenças entre ADC's [22].	85
Figura 56 – Tempo de solidificação para o teste P_e .	86
Figura 57 – Equipamento de calibração de termopares.	92
Figura 58 – Equipamento de calibração de sinal por geração de sinal [35].	93
Figura 59 – União das pontas do termopar.	99
Figura 60 – Equipamento de desgasificação do metal líquido [16].	100
Figura 61 – Visualização da desgasificação do metal [16].	101
Figura 62 – Dimensões do provete para um volume vazado de 88774 mm ³ .	103
Figura 63 – Dimensões do provete para um volume vazado de 81093 mm ³ .	104
Figura 64 – Dimensões do provete para um volume vazado de 73555 mm ³ .	104
Figura 65 – Dimensões do provete para um volume vazado de 64273 mm ³ .	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de solidificação para cada módulo do cacho.....	44
Tabela 2 – Tempo de solidificação para a peça modificada.	45
Tabela 3 – Tempo de solidificação com o aumento da temperatura da coquilha.	45
Tabela 4 – Tempo de solidificação com o aumento da temperatura de vazamento.....	45
Tabela 5 – Características da moldação e posição do fundido.	47
Tabela 6 – Posição e plano de vazamento.....	47
Tabela 7 – Localização dos sensores.	47
Tabela 8 – Testes e parâmetros de cada teste efectuado.....	48
Tabela 9 – Testes e parâmetros de cada teste efectuado, continuação.	48
Tabela 10 – Campo magnético - Erros de medição em sensores a baixas temperaturas [38].	87
Tabela 11 – Campo magnético - Erros de medição em sensores a baixas temperaturas, continuação [38].	88
Tabela 12 – Características de diversos sensores de temperatura [39].	89
Tabela 13 – Características dos diversos RTD [39].	89
Tabela 14 – Tipos e intervalo de indicação dos termopares [39].	90
Tabela 15 – Aspectos dos termopares [39].	90
Tabela 16 – Dados obtidos nos testes estáticos em coquilha.....	106
Tabela 17 – Dados obtidos nos testes na máquina.....	111

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Padrões em 2.4 GHz [28].	37
Gráfico 2 – Evolução da velocidade de transmissão de sinal para várias tecnologias (Adaptado) [28].	37
Gráfico 3 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P ₁₄	52
Gráfico 4 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P ₁₄ amostra ampliada. 53	
Gráfico 5 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P _{M16}	53
Gráfico 6 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P _{M16} amostra ampliada.	54
Gráfico 7 – Diferenças entre leitura de temperatura para sensores de temperatura muito perto da coquilha.	55
Gráfico 8 – Variação da temperatura nos termopares antes e após a introdução de um campo magnético ao longo dos fios.	60
Gráfico 9 – Variação da temperatura no sensor antes e após a introdução de um campo magnético na ponta dos termopares.	60
Gráfico 10 – Curvas de arrefecimento para o ensaio estático número 2.	75
Gráfico 11 – Gradiente de temperaturas ao longo do provete conforme o tempo de aquisição.	75
Gráfico 12 – Curvas de arrefecimento para o ensaio número 2 dos testes na máquina.	77
Gráfico 13 – Gradiente de temperaturas ao longo do provete conforme o tempo de aquisição.	77

NOMENCLATURA

Siglas:

- **3D** - Tridimensional;
- **ADC** - Conversor analógico digital;
- **CC** - Corrente contínua;
- **f.e.m.** - Força electromotriz;
- **IEEE** - Institute of Electrical and Electronics Engineers;
- **NI** - National Instruments;
- **PC** - Computador pessoal;
- **P_i** - Provete inicial;
- **P_m** - Provete modificado;
- **RTD** - Resistance Temperature Devices;
- **S** - Sensor;
- **SAE** - Society of Automotive Engineers;
- **SAQD** - Sistema de Aquisição de dados;
- **Stl** - Ficheiro de gravação, Stereolithography;
- **USB** - Universal serial bus.

Acrónimos:

- **AISI** - American Iron and Steel Institute;
- **ASTM** - American Society for Testing and Materials;
- **Bit** - Dígitos binários;
- **DEM** - Departamento de Engenharia Mecânica;
- **FGM's** - Functionally graded materials ou em português material com gradiente funcional de propriedades;
- **ISO** - International Standards Organization;
- **LAN** - Local de área Network;
- **PID** - Controlo proporcional integral e derivativo;
- **Wi-Fi** - Wireless fidelity.

Elementos químicos:

- **Al** - Alumínio;
- **Cr** - Crómio;
- **Cu** - Cobre;
- **Fe** - Ferro;
- **Mg** - Magnésio;
- **Mn** - Manganés;
- **Ni** - Níquel;
- **Si** - Silício;
- **Sn** - Estanho;
- **Ti** - Titânio;
- **Zn** - Zinco.

Sigla - Grandeza/Símbolo/Unidade

- **B** - Binário/N.m/Newton por metro;
- **B** - Campo magnético/T/tesla;
- **D** - Diâmetro/mm/milímetro;
- **F** - Força/N/newton;
- **F_m** - Frequência do sinal de entrada/Hz/hertz;
- **F_s** - Frequência de amostragem mínima/Hz/hertz;
- **h** - Altura/mm/milímetro;
- **L** - Comprimento/m/metro;
- **m** - Massa/g/grama;
- **M** - Massa/kg/kilograma;
- **P** - Potência/W/watt;
- **Q** - Transferência de calor/J/joule;
- **T** - Temperatura/°C/graus célsius;
- **t** - Tempo/s/segundo;
- **V** - Tensão eléctrica/V/volt;
- **Ω** - Velocidade angular/rpm/rotações por minuto.

GLOSSÁRIO

- **Alimentador** - Massa de metal vazado que têm como função fornecer metal líquido ao fundido durante a solidificação, para eliminar defeitos provocados pela contracção volumétrica do metal;
- **Calibração** - Processo sob condições específicas, no qual se visualiza se o instrumento de medição está conforme a legislação ou norma regulamentada para o instrumento de medição em causa;
- **Contracção** - Variação do volume que ocorre nos metais, durante a transformação de fase do metal líquido para sólido;
- **Coquilha** - Moldação permanente numa liga metálica;
- **Estabilidade** - Invariabilidade dimensional mesmo na presença de diversos factores;
- **Histerese** - Tendência de um instrumento para dar valores diferentes para uma determinada entrada, conforme este esteja no sentido ascendente ou descendente;
- **Intervalo de medição** - Conjunto de valores de grandezas da mesma natureza que podem ser medidas por um dado instrumento de medição ou sistema de medição com uma dada incerteza instrumental, em condições especificadas;
- **Qualidade** - Medida sobre a qual o produto fabricado satisfaz as especificações do projecto;
- **Módulo de Young** - Parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido;
- **Moldação permanente** - Moldação, normalmente metálica, que não é demolida no processo de desmoldação do fundido, utilizada em sucessivas operações de vazamento;
- **Permeabilidade** - Aptidão do material de moldação ou machos em se deixar atravessar por gases e vapores;
- **Rede local sem fios Ad-hoc** - Sistemas isolados ente si que contêm uma placa de transmissão sem fios podendo comunicar sem a necessidade de um ponto de acesso;

- **Repetibilidade** - Fidelidade de medição para um conjunto de condições de repetibilidade;
- **Reprodutibilidade** - Fidelidade de medição para um conjunto de condições de reprodutibilidade;
- **Resolução** - A menor variação numa grandeza a medir que provoca uma variação perceptível na correspondente indicação;
- **Resolução de um dispositivo** - A menor diferença entre indicações afixadas que podem ser distinguidas significativamente;
- **Revestimento** - Envolvimento da coquilha por um material refractário;
- **Sede** - Parte da cabeça do motor onde se localiza a válvula;
- **Sensibilidade** - Quociente da variação de uma indicação de um sistema de medição pela correspondente variação do valor da grandeza medida;
- **Solidificação dirigida/unidireccional** - Solidificação de um metal segundo uma determinada direcção;
- **Taxa de aquisição** - Número de amostras recolhidas por uma unidade de tempo;
- **Tempo de solidificação** - Variação de tempo entre o momento em que se inicia o vazamento do metal líquido e o momento em que este solidifica no interior da moldação;
- **Tensão de cedência** - Tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação;
- **Tensão de ruptura** - Tensão máxima da curva de tensão nominal, à qual após o material sofre fractura;
- **Vazamento** - Transferência do metal líquido do forno para a cavidade da coquilha;
- **Vibração** - Movimento relativo gerado em sistemas que se repetem num determinado intervalo de tempo.

1. INTRODUÇÃO

Na fase actual do país a palavra de ordem é fazer mais com menos recursos. Esta falta de meios económicos que o país evidencia reflecte-se a todos os níveis da sociedade, na qual o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho não é excepção. Para combater esta privação deve-se apostar na inovação tecnológica que permitirá gerar no futuro empresas e com isso o crescimento económico do país.

A inovação em materiais é uma das áreas dessa aposta. A inovação nos materiais no mercado actual competitivo deve passar por quatro pilares fundamentais: a melhoria das propriedades, a redução de custos de fabrico, a diversificação dos materiais e o aumento da qualidade.

Um material com gradiente funcional de propriedades (FGM's – Functionally graded materials) é um material que assenta nos quatro pilares apresentados, revelando-se ainda uma área pouco explorada em que se pode inovar. Perante tal situação, considera-se importante apostar neste tipo de materiais ainda muito pouco utilizados na indústria e que têm uma grande margem de crescimento. Um material com gradiente de composição química tem aplicação em componentes sujeitos a vários esforços em simultâneo, como por exemplo: os pistões que têm de ter na cabeça resistência a altas temperaturas e uma saia com boa condutividade térmica e resistência ao desgaste.

Para conseguir gerar inovação é necessário conhecer o processo e os seus parâmetros fundamentais que têm influência nas propriedades e características do componente. Em fundição centrífuga a formação de um gradiente funcional de propriedades depende principalmente da temperatura de processamento e da aplicação da força centrífuga [1]. A temperatura de processamento é um parâmetro fundamental já que durante o processo a temperatura vai influenciar as propriedades dos fundidos. Porém, esta é difícil de controlar porque varia no tempo e no espaço. O estudo da temperatura durante o processo de vazamento vai permitir compreender melhor o fenómeno. Este estudo realiza-se através do desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados que permita adquirir o sinal da temperatura.

1.1. OBJECTIVO

Este trabalho vêm no seguimento de outros que levaram à construção de um equipamento de vazamento por fundição centrífuga que permite produzir componentes com gradiente funcional de propriedades, no entanto o equipamento não permite a monitorização do processo, nomeadamente a evolução da temperatura dos fundidos durante a solidificação.

O objectivo principal deste trabalho é dotar o equipamento de um sistema de aquisição de dados sem fios que permita monitorizar em tempo real a variação de temperatura do metal no interior da coquilha.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

No **capítulo 2**, relata-se o estado de arte relativamente a máquinas de vazamento por centrifugação com monitorização da temperatura em tempo real na coquilha e apresenta-se o equipamento de vazamento por centrifugação de eixo vertical, descreve-se os componentes constituintes, tal como a sua função, material. O capítulo 3 torna-se importante para compreender o funcionamento do equipamento e as dificuldades inerentes à instalação de um sistema de aquisição de dados.

No **capítulo 3**, aborda-se os materiais com gradiente funcional de propriedades. Apresenta-se o conceito, vantagens e desvantagens, aplicações, processos de criação de materiais com gradiente funcional de propriedades.

No **capítulo 4**, escreve-se sobre a fundição centrífuga vertical e quais os parâmetros que afectam a qualidade dos fundidos em fundição centrífuga e refere-se a importância da monitorização da temperatura em tempo real no interior da coquilha.

No **capítulo 5**, descreve-se a arquitectura de um sistema de aquisição de dados. Apresenta-se os tipos de tecnologias existentes e respectivas vantagens e desvantagens. Por fim, refere-se o tipo de empresas que comercializam sistemas de aquisição de dados.

No **capítulo 6**, apresenta-se a análise ao projecto. Neste capítulo, abordam-se pontos como: algumas características dos sensores de medição, a colocação do sistema de aquisição na máquina, o efeito das vibrações, a protecção dos sensores e o efeito do campo eléctrico magnético na medição.

No **capítulo 7**, selecciona-se os componentes do sistema de aquisição de dados que melhor cumprem os requisitos e indica-se o modo como estes irão ser colocados no equipamento de vazamento por fundição centrífuga de eixo vertical. Também se apresentam as características do software elaborado para o sistema de aquisição de dados em questão.

No **capítulo 8**, refere-se as alterações efectuadas na coquilha e no veio para permitir a colocação do sistema de aquisição de dados.

No **capítulo 9**, apresentam-se os resultados dos testes efectuados em que se realizou aquisição de dados e principais comentários.

No **capítulo 10**, expõe-se as conclusões finais deste relatório facultando sugestões para trabalhos futuros.

2. EQUIPAMENTO DE VAZAMENTO POR FUNDIÇÃO CENTRÍFUGA

Actualmente as máquinas que realizam fundição centrífuga vertical estão muito dedicadas a joalheria, como é o caso da máquina C300 *Pilat*, produzida pela empresa *Nadjar* (figura 1). A empresa *Yasui* também apresenta uma máquina de vazamento por centrifugação em vácuo, para platina, em que a temperatura é controlada por PID numa precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, através de um sensor óptico térmico com um intervalo de medição entre 900 a 2100°C (figura 2). No entanto, estas máquinas não fazem monitorização da temperatura em tempo real no interior da coquilha. Dependendo do equipamento apenas se consegue controlar a composição da liga, a temperatura da moldação, a velocidade de rotação e a temperatura de vazamento logo, este trabalho irá incidir numa área completamente nova. Mesmo os artigos lidos e apresentados no decorrer deste trabalho focam esta limitação dos equipamentos e na dificuldade em monitorizar a temperatura em tempo real no interior da coquilha.



Figura 1 – Máquina de vazamento por centrifugação *Nadjar* C300 *Pilat* [2].



Figura 2 – Máquina de vazamento por centrifugação da *Yasui* VCC [3].

Equipamento de vazamento por fundição centrífuga

O equipamento de fundição centrífuga de eixo vertical (figura 3 e figura 4) encontra-se no laboratório pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica na Universidade do Minho.



Figura 3 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga [4].



Figura 4 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga noutra perspectiva [4].

Este equipamento foi construído com o objectivo de produzir componentes com gradiente de composição dado que no mercado não existem equipamentos deste género [4], tratando-se assim de um equipamento de apoio à investigação na área de materiais com gradiente de propriedades (FGM's), sendo então de máxima importância a sua instrumentalização para cumprir essa função.

O que se procura inovar neste equipamento, é a sua capacidade de monitorizar, avaliar e controlar o processo de fundição e assim otimizar a produção e qualidade dos fundidos.

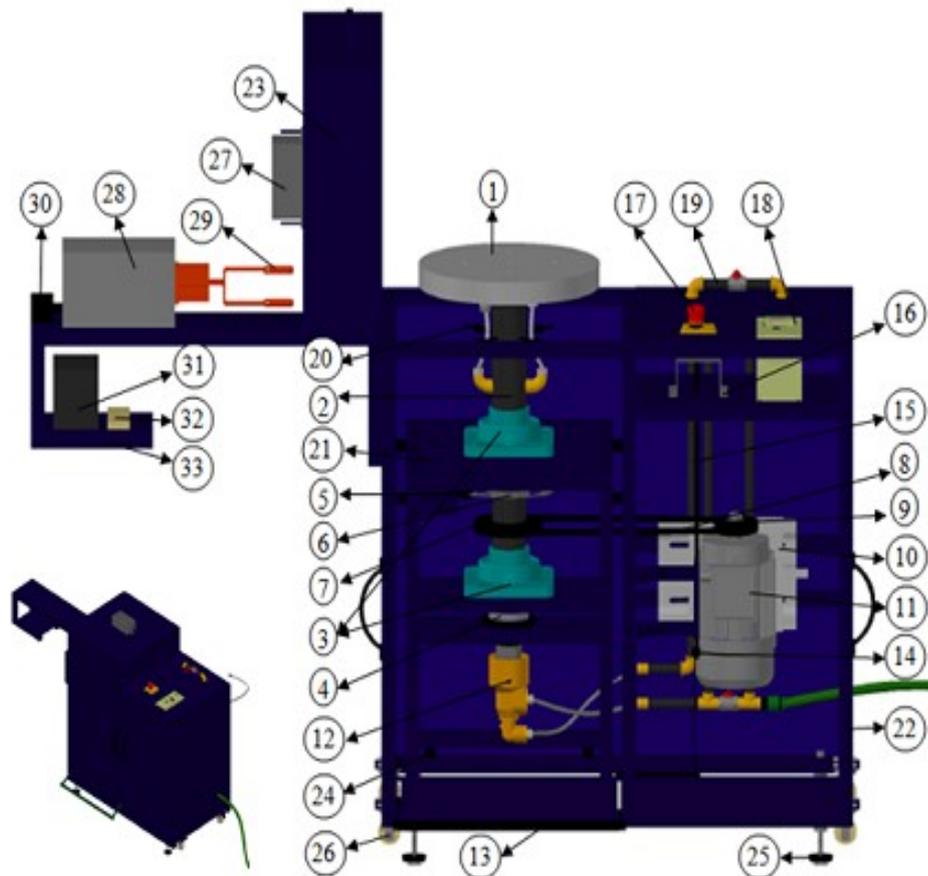
No seguimento da instrumentalização do equipamento de fundição centrífuga de eixo vertical surge a necessidade de conhecer em pormenor: o seu funcionamento, funções dos seus

componentes, sistemas existentes, dimensões e materiais. Os próximos subcapítulos incidirão sobre os aspectos supra referidos.

O equipamento de fundição centrífuga de eixo vertical apresenta as seguintes especificações [5]:

- Possibilita o vazamento de duas ligas de alumínio para a criação de um material com um gradiente funcional de propriedades;
- É dotado de um movimento de rotação para gerar uma força centrípeta, sendo a velocidade máxima de rotação de 2000 rpm;
- Possui um sistema de refrigeração;
- Permite moldações permanentes, cujo diâmetro mínimo é de 100 mm e máximo de 400 mm e uma altura máxima de 80 mm;
- Peso de 150 kg;
- Têm as seguintes dimensões de atravancamento 1004x560x960 mm;
- A travagem de emergência efectua-se em dez segundos.

A figura 5 mostra o equipamento de fundição centrífuga e os seus componentes figurados nos trabalhos de Magalhães [4] e Silva [5]. As dimensões e o material dos componentes importantes para o trabalho de instrumentalização deste equipamento foram retirados também destes trabalhos.



1. Coquilha;	2. Veio;	3. Rolamentos de carga radial;
4. Rolamento carga axial;	5. Pinças do travão;	6. Disco de travão;
7. Polia movida;	8. Correia trapezoidal;	9. Polia motora;
10. Suporte do motor;	11. Motor eléctrico;	12. União rotativa;
13. Pedal de travão;	14. Came;	15. Haste de accionamento botão;
16. Suporte de botão;	17. Botão de arranque e paragem;	18. Variador de frequência;
19. Tubagem de refrigeração;	20. Sistema de equilíbrio;	21. Estrutura interna;
22. Estrutura externa;	23. Tampa da coquilha;	24. Anti-vibrações internas;
25. Anti-vibrações externas;	26. Rodas;	27. Bacia de vazamento;
28. Cabeçote indutivo;	29. Enrolamento da bobine;	30. Motor de passo;
31. Fonte de alimentação do motor de passo;	32. Placa de ligação do motor de passo;	33. Suporte da bobine de indução;

Figura 5 – Projecto final do equipamento e componentes constituintes [4].

Os componentes a partir do número 27, não estão construídos mas prevê-se o projecto e a sua construção no futuro.

O equipamento subdivide-se em vários módulos que foram analisados em pormenor para reunir o necessário conhecimento alargado destes. Os módulos presentes no equipamento são:

- Sistema de transmissão de movimento;
- Sistema de arrefecimento;
- Sistema de aquecimento;
- Sistema de equilíbrio;
- Sistema de travagem de emergência;
- Estrutura anti-vibrações;
- Moldação/coquilha.

2.1. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

O sistema de transmissão tem a função de transmitir o movimento circular à coquilha (figura 6). Este sistema é constituído por um motor eléctrico com as seguintes características de 2,2 kW de potência, 7,5 N.m de binário e uma rotação máxima de 2840 rpm que está colocado lateralmente ao veio da coquilha. A transmissão ao veio realiza-se através de uma transmissão flexível (correia/polias) e a velocidade de rotação é controlada por um variador de frequência.

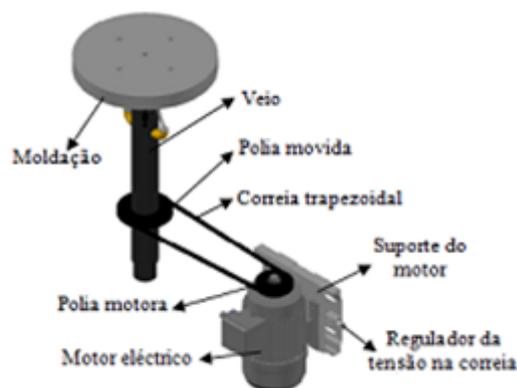


Figura 6 – Sistema de transmissão [4].

2.2. SISTEMA DE ARREFECIMENTO

O sistema de arrefecimento tem a função de arrefecer o metal vazado, alterar a velocidade de arrefecimento e auxiliar na geração de uma solidificação dirigida. Este sistema deve também facultar o arrefecimento de outros componentes mecânicos, por exemplo os rolamentos da união rotativa.

O equipamento de fundição centrífuga tem um sistema de arrefecimento em circuito aberto (figura 7) e o líquido utilizado no arrefecimento é a água, sendo esta obtida na rede pública. A entrada da água na máquina é controlada por uma válvula de abertura/fecho. Quando esta válvula é aberta o líquido circula até uma união rotativa onde entra no interior do veio circulando numa tubagem até se ligar à coquilha. Na coquilha, a água circula no seu interior existindo uma transferência de calor entre a coquilha e a água, esta sai por uma tubagem que se liga ao veio, onde agora escorre pelo interior do veio até à união rotativa, acabando por ser removida daí para a rede de esgotos.

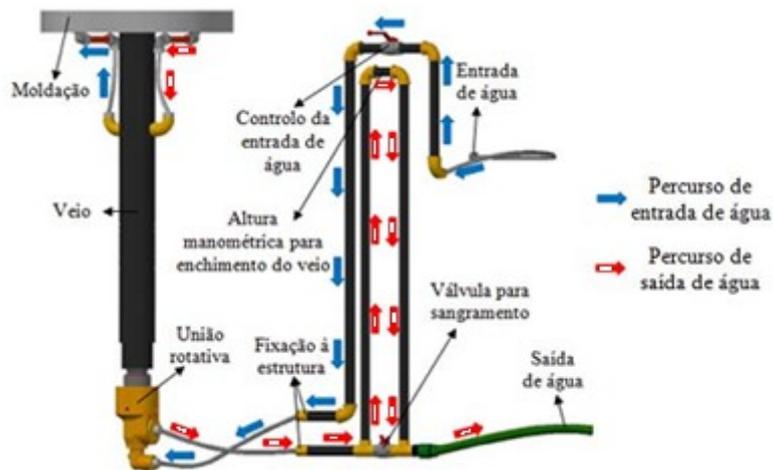


Figura 7 – Sistema de refrigeração [4].

2.3. SISTEMA DE AQUECIMENTO

O sistema de aquecimento não está construído mas deve ser levado em conta na realização da instrumentalização do equipamento e no modo como este afectará a aquisição de dados, já que futuramente será implementado na máquina.

A função do sistema de aquecimento na coquilha é provocar um aquecimento localizado do metal vazado ajudando a solidificação dirigida e o pré-aquecimento da coquilha [6]. Este aquecimento é executado através de um campo electromagnético provocado por uma bobine de indução.

Segundo Yuan [7], o uso de um campo electromagnético na fundição centrífuga revela um aumento das propriedades mecânicas em comparação com a fundição centrífuga convencional. Este explica que uma força electromagnética constante produz uma interacção com o metal líquido em rotação actuando sobre o fundido na direcção tangencial conduzindo o

metal líquido na direcção oposta. O campo electromagnético permite reduzir os defeitos dos fundidos como as porosidades, inclusões e controlar a proporção de grãos equiaxiais produzindo diferentes propriedades conforme as necessidades.

O sistema de aquecimento planeado consiste numa bobine de indução que é posicionada lateralmente na coquilha e se desloca horizontalmente num suporte consoante as necessidades de aquecimento (figura 8).

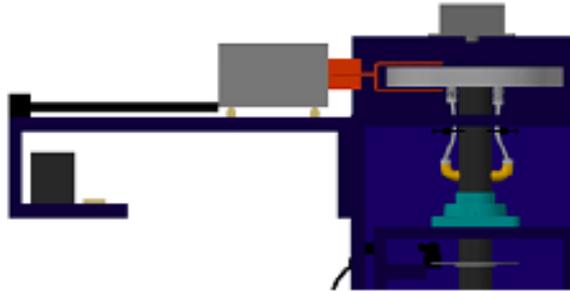


Figura 8 – Sistema de aquecimento [4].

2.4. SISTEMA DE EQUILÍBRIO

O sistema de equilíbrio, como o próprio nome indica serve para compensar quaisquer desequilíbrios mecânicos do conjunto móvel. Um desequilíbrio rotativo de uma máquina existe se o centro de gravidade da parte rotativa não coincide com o eixo de rotação [8]. O equipamento apresenta um conjunto de quatro parafusos M6x100 dotados de uma massa de 26 g que são reguláveis e que servem para corrigir quaisquer desequilíbrios na moldação metálica (figura 9).

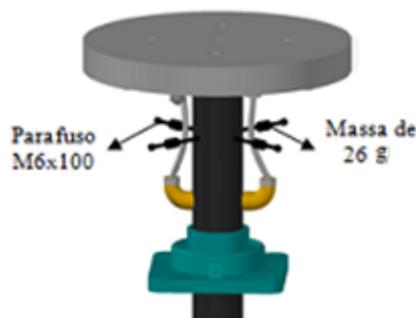


Figura 9 – Sistema de equilíbrio [4].

2.5. SISTEMA DE TRAVAGEM E EMERGÊNCIA

O sistema de travagem têm como função interromper o funcionamento do equipamento sempre que haja ou ocorra qualquer problema durante a sua operação que ponha em causa a segurança do operador. Este sistema é constituído por um botão de emergência que ao ser pressionado desliga a alimentação da corrente eléctrica ao motor e prime uma came ligada a um pedal que também pode ser accionado manualmente. O movimento descendente do pedal acciona um cabo que aperta os calços contra o disco acoplado ao veio parando assim o movimento deste e da coquilha (figura 10).

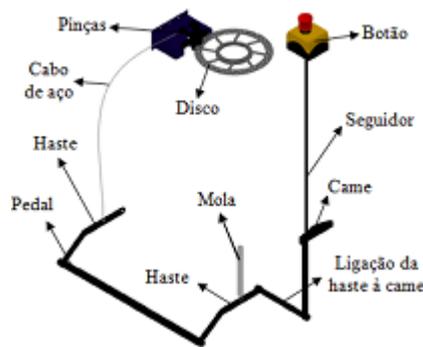


Figura 10 – Sistema de travagem [4].

2.6. ESTRUTURA ANTI-VIBRAÇÕES

Este sistema tem as funções de conferir rigidez estrutural ao equipamento, acoplar todos os componentes nas devidas posições e de minimizar as vibrações. A estrutura da máquina divide-se em duas partes: a estrutura interna e externa. A estrutura interna suporta todos os componentes ligados ao veio, enquanto a estrutura externa suporta a estrutura interna e o resto dos componentes. A vantagem desta estrutura estar dividida em duas é que possibilita que os dispositivos anti-vibrações absorvam as vibrações geradas pelos componentes ligados à estrutura interna.

2.7. COQUILHA/MOLDAÇÃO PERMANENTE

A coquilha é o componente do equipamento que possui as cavidades que vão dar a forma ao componente depois do material líquido solidificar no seu interior (figura 11). É na coquilha onde ocorre o processo de solidificação, sendo esta o componente que mais influencia

a qualidade dos fundidos, logo vai ser alvo de uma abordagem mais profunda no capítulo posterior.

A coquilha presente neste equipamento de fundição centrífuga produz quatro provetes paralelepípedicos com dimensões de 120x20x6 mm, contempla a passagem de água do sistema de arrefecimento no seu interior e as suas dimensões permitem a introdução da espiral de uma bobine de indução.

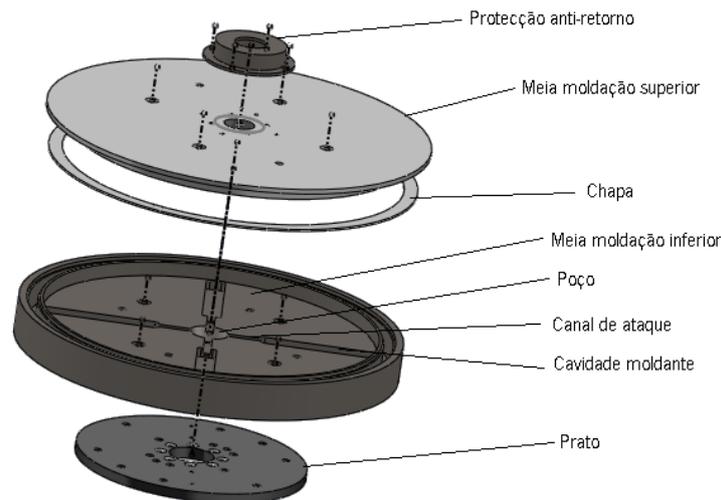


Figura 11 – Vista explodida da coquilha.

O vazamento realiza-se numa bacia de vazamento estática e sem contacto com a coquilha para evitar o lançamento do material vazado para cima do operador. A bacia é rectangular e o seu cone de descida é cerâmico (figura 12).

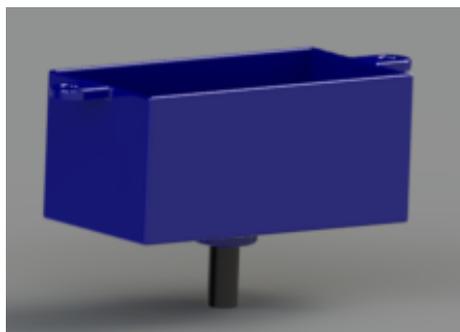


Figura 12 – Bacia de vazamento.

2.8. PROCEDIMENTO DE FUNCIONAMENTO

Para operar com o equipamento é necessário saber em detalhe o seu modo de funcionamento, para tal, explicam-se de seguida todos passos necessários para uma correcta utilização da máquina [4] [5]:

1. Verificar se os tubos das mangueiras para o arrefecimento da água estão ligados à rede pública de água e aos esgotos;
2. Averiguar se o botão de arranque/paragem está na posição superior (desligado) tal como o botão de emergência;
3. Programar o variador de frequência para a aceleração e desaceleração da coquilha pretendidos;
4. Abrir a tampa de acesso à coquilha e fixar através de parafusos a meia moldação inferior ao prato;
5. Verificar a concentricidade da coquilha com um comparador e se necessário corrigir;
6. Realizar um pré-aquecimento na coquilha;
7. Pintar as cavidades da coquilha com o material refractário pretendido;
8. Colocar a meia moldação superior sobre a inferior e fixá-la;
9. Fechar a tampa de acesso à coquilha;
10. Ligar a máquina no botão de arranque/paragem e o variador de frequência;
11. Abrir a válvula de abertura/fecho na ordem respectiva;
12. Efectuar o vazamento;
13. Após vazamento e solidificação do metal desligar a máquina com o accionamento do botão de arranque/paragem e desligar o variador de frequência;
14. Fechar a válvula do líquido de arrefecimento;
15. Abrir com cuidado a tampa de acesso à coquilha devido à sua elevada temperatura;
16. Por fim retirar a meia moldação superior e remover os provetes.

3. MATERIAIS COM GRADIENTES DE PROPRIEDADES

Componentes que utilizam materiais com gradientes funcionais de propriedades já se empregam há alguns séculos. Uma das primeiras aplicações conhecidas é nas espadas japonesas onde se verifica a transição gradual da superfície da espada endurecida para o seu núcleo mais macio. Porém, só no século XX, no Japão, é que se deu o grande desenvolvimento nesta área devido ao projecto aeroespacial “Research on the Basic Technology for the Development of Functionally Gradient Materials for Relaxation of Thermal Stress”. Este projecto consistia em desenvolver um material capaz de suportar temperaturas elevadas todavia que não gerasse concentração de tensões na interface com outro material. A solução passou, então, pela combinação dos dois materiais, em que a passagem de um material para o outro deixou de ser abrupta mas sim uma transição gradual. Este tipo de material começou-se a denominar de Material com Gradiente Funcional ou FGM's (acrónimo do inglês) [9].

3.1. CONCEITO

Os materiais com gradiente funcional de propriedades são materiais com gradientes de composição, estrutura e/ou qualquer propriedade que visam tornarem-se superiores aos materiais homogéneos ou não, compostos pelos constituintes iguais ou similares (figura 13). Os FGM's são um novo tipo de materiais que têm uma microestrutura que pode alternar no espaço tridimensional originando uma microestrutura com mudanças de propriedades mecânicas e térmicas. Os materiais podem, assim, ser projectados para uma função ou aplicação específica [10].

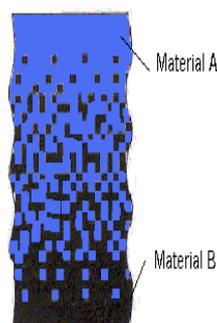


Figura 13 – Microestrutura de um material com um gradiente funcional de propriedades.

3.2. APLICAÇÕES

Esta nova classe de materiais têm um enorme potencial, podendo ser aplicada em quase todos os tipos de componentes em que existe o requisito de transição gradual de uma propriedade. De seguida são apresentados alguns exemplos em que se podem aplicar materiais com gradiente funcional de propriedades [10]: Tubos de reactores nucleares; Motores aeroespaciais; Veículos aeroespaciais; Revestimentos em tribologia; Ortopedia; Implantes dentários; Armazenamento magnético de informações; Ferramentas de corte; Componentes de motores de combustão interna; Sistemas de conversão de energia; Joalheria; entre outros. Relativamente aos motores de combustão interna um dos componentes em se pode aplicar um gradiente funcional é às válvulas (figura 14), já que a sua cabeça está exposta a temperaturas elevadas e a sua periferia a impactos contra a sede. A válvula deve então ter boa condutividade térmica e boa resistência ao impacto [11].

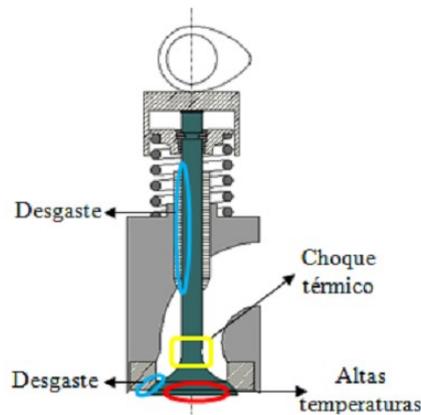


Figura 14 – Solicitações a que a válvula está sujeita [4].

3.3. PROCESSOS DE FABRICO EXISTENTES PARA A REALIZAÇÃO DOS FGM'S

Os processos de fabrico de componentes FGM's existentes e capazes de criação de um gradiente de propriedades entre dois materiais são a seguir designados:

- Metalurgia de pós (PM – Powder Metallurgy);
- Processo de fusão incremental e solidificação (ISMP – Incremental Melting and Solidification Process);
- Processo de vazamento – decantação – vazamento (CDC – Cast-decant-cast);
- Processo de solidificação unidireccional (Unidirectional solidification process);
- Processo de fundição centrífuga (Centrifugal Casting Process).

Destes processos de produção de FGM's o processo de fundição centrífuga é o que apresenta melhor relação preço/eficiência comparativamente com outros métodos de produção [12].

Os processos actuais de fabrico de FGM's tentam resolver o problema de concentração de tensões na zona de ligação entre dois materiais diferentes.

3.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS FGM'S

Depois de estabelecer o que é um material com gradiente funcional e de se indicar alguns dos campos de aplicações destes enumera-se neste subcapítulo algumas das vantagens e desvantagens da utilização dos FGM's.

Vantagens:

- Permite obter componentes com diferentes propriedades;
- Os componentes podem ser projectados para uma aplicação muito específica;
- A aplicação de materiais com gradiente funcional é competitiva e económica em relação a outras técnicas;
- A existência de vários processos que conseguem realizar imensas combinações de materiais.

Desvantagens:

- A baixa industrialização dos processos de fabrico que ainda não se adequam à produção em massa;
- A falta de maturidade de alguns processos de fabrico.

Relativamente aos processos, o processo de fundição centrífuga é abordado em pormenor no capítulo seguinte já que se trata do processo existente no equipamento que se quer instrumentar e realizar um sistema de aquisição de dados.

4. FUNDIÇÃO CENTRÍFUGA

Na indústria de fundição existe uma busca constante para a obtenção de fundidos com elevada qualidade geométrica, metalúrgica, mecânica e superficial, já que este tipo de tecnologia sobrepõe-se a demais tecnologias em termos económicos [12].

Esta busca constante traduz-se numa melhoria contínua nos processos de fundição, através de melhores materiais e equipamentos que levam ao aperfeiçoamento da estabilidade dos factores influentes e a um controlo rigoroso de todos os parâmetros envolvidos. Destes processos, os de fundição em moldação permanente são os que têm tido grande desenvolvimento nos últimos anos, no domínio dos equipamentos, sistemas de controlo de parâmetros e de automatização do processo que tiveram como consequência a melhoria da qualidade dos fundidos. Nesta procura pela maximização da produção, melhoria da qualidade e produtividade procura-se também cada vez mais o conhecimento das variáveis que interferem no processo [13].

Uma das variáveis que afectam o processo de fundição é a temperatura, sendo o controlo desta complexo. A temperatura varia ao longo do processo não sendo constante no tempo e no espaço. Admitir que em qualquer ponto da moldação a temperatura de vazamento do metal é constante sendo o fluxo de calor retirado constantemente é uma utopia. O fluxo de calor extraído desde da face interna do molde para o exterior resulta numa distribuição de gradientes através da moldação metálica. Embora as quantidades de calor fornecidos e extraídos sejam as mesmas no ciclo completo, a realidade é que a temperatura vai variar de ponto para ponto dependente do ciclo térmico que esta está a sofrer [14].

Na fundição centrífuga existem dois tipos de equipamentos utilizados os que giram em torno de um eixo horizontal e os que giram em torno um eixo vertical. A fundição centrífuga horizontal é usada para fazer tubos, buchas, camisas de cilindros entre outros componentes, porém o campo de aplicação da fundição centrífuga vertical é bem maior já que os fundidos realizados por estes processos não necessitam de ser cilíndricos e simétricos.

A fundição centrífuga vertical (figura 15) utiliza a força centrífuga gerada na rotação da coquilha para forçar o metal a entrar sob pressão para o interior das cavidades desta, dando-se aí a solidificação do metal [15].

Existem 3 tipos de processos de fundição centrífuga vertical porém o que interessa a este trabalho é aquele em que o eixo de rotação é exterior à peça.

Relativamente a este tipo de fundição por centrifugação é necessário garantir o equilíbrio em rotação, pois se assim não for geram-se vibrações que prejudicam a qualidade das peças.

Outro ponto a considerar é a escolha das ligas a vaziar pois nem todas servem à fundição por centrifugação porque os elementos terão diferentes densidades e aqueles elementos com densidades muito diferentes tendem a separar-se [15].

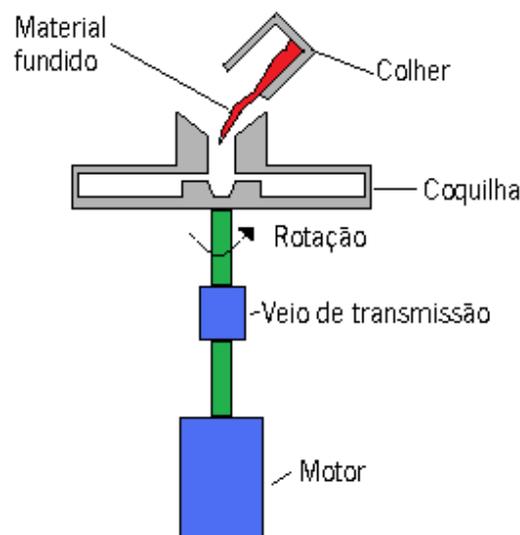


Figura 15 – Fundição centrífuga de eixo vertical.

A capacidade de um fundido ser vazado usando este tipo de processo depende da sua forma e material. O sistema de vazamento usualmente utilizado neste tipo de processo combina a função de canal de enchimento e de alimentação. A força centrífuga amplia a ação do alimentador e produz um material com maior densidade.

Os moldes permanentes são os mais usados na fundição centrífuga já que permitem uma remoção de calor mais rápida que se traduz normalmente num aumento de propriedades mecânicas [16]. O estudo de Chirita [17] revela que a fundição centrífuga comparada com a fundição por gravidade em diferentes ligas de Al-Si, traduz-se no aumento das propriedades dos fundidos. Este estudo indica que a tensão de ruptura pode aumentar até 50% e o módulo de young em 20% dependendo da posição em que se realiza os testes no provete.

Quando se pretende obter peças por fundição deve-se ter os seguintes factores em consideração [14]: liga a vaziar; dimensões; volume e peso dos fundidos; complexidade geométrica; espessuras mínimas a obter; acabamento superficial pretendido; precisão

dimensional; quantidade de peças a produzir; custos de ferramentas e equipamentos; custos de produção e propriedades pretendidas.

4.1. PARÂMETROS QUE AFECTAM AS CARACTERÍSTICAS DE UM FUNDIDO

Os parâmetros que afectam as características de um fundido em fundição por centrifugação são:

1. Equipamentos de produção;
2. Especialização dos meios humanos;
3. Equipamentos de controlo do produto;
4. Controlo do processo;
5. Tipos de ligas a vaziar.

Estes parâmetros influenciam também o custo e não existe um nível ideal, mas existe um nível óptimo de parâmetros que se conjugam com o custo e as características do fundido pretendidas. Nos próximos subcapítulos serão apresentados os parâmetros que afectam as características de um fundido.

4.2. EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO

Os equipamentos de produção são essenciais ao processo, dado que suportam todo o sistema. Entre os vários equipamentos de produção destaca-se o forno, a máquina de vazamento por fundição centrífuga, o cadinho de vazamento e a moldação permanente. A moldação permanente é um parâmetro desenvolvido seguidamente já que se trata de um factor importantíssimo no processo.

4.3. MOLDAÇÃO PERMANENTE

O termo moldação permanente é utilizado para designar processos de fundição em que a moldação não é destruída durante o processo, logo é propícia à obtenção de dezenas ou milhares de peças. Porém, este processo acarreta um problema que se prende com a dificuldade de retirar o fundido sem danificar a coquilha ou a peça, o que leva à limitação da geometria dos fundidos. A moldação permanente apresenta as seguintes vantagens e desvantagens relativamente aos outros tipos de moldação:

Vantagens [16]:

- Cadências de produção elevadas;
- Custos de produção menores;
- Melhor estado de acabamento superficial dos fundidos, em muitos casos;
- Boas propriedades mecânicas dos fundidos devido à maior velocidade de arrefecimento;
- Maior facilidade de automatização de todo o processo;
- Maior rigor dimensional;
- Menor rugosidade;
- Economia de material vazado;
- Não se sujeita a defeitos característicos das moldações em areia.

Desvantagens [16]:

- Custo de ferramentas e equipamento elevado;
- Limitação ao tipo de liga vazável;
- Limitação da geometria;
- Baixa permeabilidade o que leva ao dimensionamento de sistemas de evacuação de gases e vapores.

4.3.1. MATERIAL DA MOLDAÇÃO

Na fundição centrífuga são usados um grande número de moldes em ferro fundido, no entanto os moldes permanentes em aço também são muito comuns e mais seguros. Os moldes permanentes em ferro fundido podem ser perigosos devido a terem baixa tensão de cedência e no caso de arrefecimento a água existir um grande perigo de ruptura.

São recomendados aços com baixo teor em carbono, já que aços com um teor superior a 0,30% não devem ser usados porque podem surgir fissuras com o choque térmico quando o material é vazado no molde. Os materiais satisfatórios são a liga 1018, 1020 AISI ou ASTM A106. Neste processo é importante que os moldes não tenham defeitos e que a moldação seja maquinada de modo a obter um bom acabamento superficial.

Segundo Magalhães [4], o material da coquilha é um aço normal que tem uma temperatura de fusão de 1500°C não indicando mais características do material.

4.3.2. SOBREEPESURA DO MATERIAL DADA A CAVIDADE MOLDANTE

Em termos dimensionais, a cavidade moldante é sobredimensionada para compensar a contracção do metal durante a solidificação no interior do molde. Diferentes fundidos têm diferentes taxas de contracção, normalmente nas ligas de alumínio os valores de contracção rondam os 13 mm/m [16].

A figura 16 pode ser usada como uma orientação para determinar a espessura da moldação para moldações permanentes em aço arrefecidos a água, demonstrando a espessura da moldação em função do diâmetro interno da moldação.

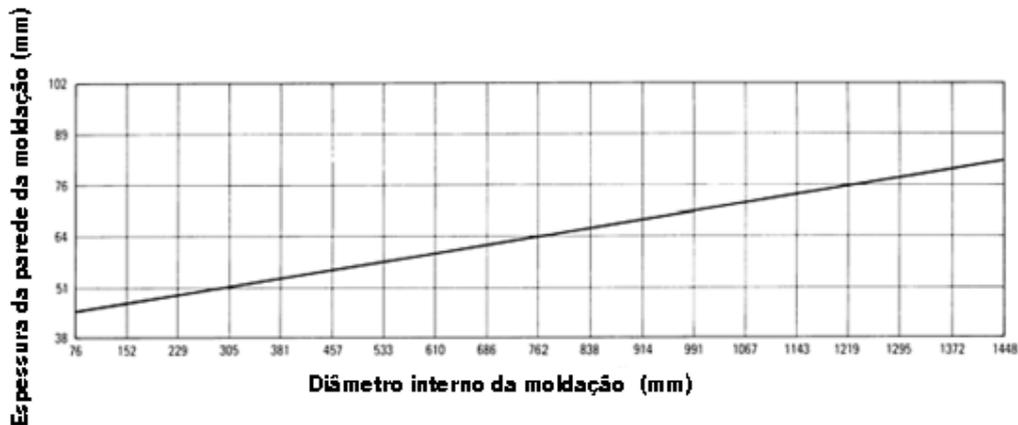


Figura 16 – Espessura da moldação ou coquilha em função do diâmetro interno da moldação (adaptada) [16].

4.4. ESPECIALIZAÇÃO DOS MEIOS HUMANOS

Os meios humanos são um elemento de controlo para que todo o processo ocorra normalmente. Estes devem ser dotados de determinadas aptidões de modo a corresponder da melhor forma possível às mais variadíssimas situações que ocorrem durante um vazamento.

4.5. EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE E CONTROLO

Dos equipamentos de análise e controlo destaca-se dois grandes grupos: os que controlam e analisam o decorrer do processo e os que analisam o produto após o processo.

Os equipamentos de controlo que controlam o decorrer do processo são os sensores de temperatura, variador de frequência, válvula do sistema de arrefecimento e espectrómetro.

Dos que controlam o produto destacam-se entre outros, a microscopia óptica que avalia a microestrutura, o equipamento de ensaio de microdureza que avalia a dureza do fundido e instrumentos de medição que avaliam a conformidade dimensional e geométrica do fundido.

4.6. CONTROLO DO PROCESSO

No controlo do processo destacam-se os factores influenciadores das características dos fundidos, que são enunciados nos próximos subcapítulos.

4.6.1. TEMPERATURA DE VAZAMENTO

A temperatura de vazamento do material na fundição centrífuga é dependente da quantidade de metal a vaziar, tipo de material, método de vazamento, bem como do tamanho, forma e propriedades da coquilha. A temperatura de vazamento vai influenciar o tempo de solidificação como outros parâmetros [18]. A equação 1 é a expressão utilizada no cálculo do sobreaquecimento necessário ao material a vaziar [16]:

$$L = 2,4 \Delta T + 110 \quad (1)$$

Onde:

L – Comprimento da espiral de fluidez (mm);

ΔT – Grau de sobreaquecimento (°C).

Se a temperatura de vazamento é inferior à pretendida podem ocorrer as seguintes situações: a cavidade do molde não encher, a ligação de materiais de adição não ocorrer, o sistema de alimentação solidificar antes da última parte do fundido, as secções finas solidificarem demasiado rápido interrompendo a solidificação dirigida.

Uma temperatura inferior de vazamento resulta consequentemente em paragens no ciclo de produção, porosidade, pobre detalhe do fundido e fissuras a quente. Por vezes, basta um pequeno aumento na temperatura de vazamento para evitar estes problemas.

Perante uma temperatura de vazamento elevada podem surgir as seguintes situações: contracções no fundido e empeno da coquilha o que leva ao não cumprimento das tolerâncias dimensionais e geométricas; variações na composição do metal podem desenvolver-se caso o metal fundido seja constituído por elementos que se tornem voláteis; aumento do tempo de solidificação e diminuição da vida da coquilha. A temperatura de vazamento para as ligas de alumínio varia entre 675 a 790°C. Uma vez estabelecida a temperatura de vazamento para um

dados fundidos, esta deve ser mantida no intervalo de $\pm 8^{\circ}\text{C}$ [16]. Se este controlo da temperatura de vazamento não poder ser mantido, o ciclo de arrefecimento deve ser ajustado para a máxima temperatura.

Em fundições de parede fina, o vazamento é efectuado a uma temperatura próxima do valor mais alto da gama de temperatura, enquanto nas paredes grossas dos fundidos, a temperatura de vazamento deve ser próxima do valor mais baixo da gama estabelecida anteriormente. No entanto, como para qualquer fundição de molde permanente, a temperatura de vazamento é influenciada por outras variáveis do processo e alguns ensaios são muitas vezes requeridos para estabelecer a temperatura de vazamento óptima para um fundido específico.

Segundo Yong [19], o aumento da temperatura de vazamento de 706°C para 786°C permite um maior refinamento dos grãos de silício primário, também favorece que as partículas de Mg_2Si e silício primário fiquem mais homogêneas, aumenta o tempo de solidificação facultando a migração das partículas e a criação de um gradiente funcional de propriedades.

4.6.2. *TEMPERATURA DA MOLDAÇÃO METÁLICA*

Se a temperatura da coquilha é elevada os fundidos apresentam empenos e uma estrutura de grão grosseiro o que resulta numa perda das propriedades mecânicas e do acabamento superficial. Quando a temperatura da coquilha é muito baixa, normalmente ocorrem entupimentos, paragens do ciclo de produção e a alimentação é inibida, o que geralmente resulta em contracção, fissuras a quente e colagem do fundido às paredes da coquilha e machos.

As variáveis que determinam a temperatura das coquilhas incluem [16]: temperatura de vazamento; frequência do ciclo; peso do fundido; forma do fundido; espessura das paredes do fundido; espessura das paredes do molde e espessura do revestimento do molde.

Uma temperatura da moldação metálica adequada permite aumentar o tempo de solidificação facilitando o gradiente funcional de propriedades, uma vez que as partículas terão um período maior para se poderem deslocar na coquilha [19].

4.6.3. *REVESTIMENTO DA COQUILHA*

O revestimento das superfícies da coquilha funciona como uma barreira entre o metal fundido e as superfícies deste, enquanto uma pele do metal solidificado é formada, este

revestimento acautela assim o arrefecimento prematuro do metal fundido e ajuda a controlar a taxa e a direcção de solidificação do fundido. No seguimento deste processo surgem melhorias na sanidade, estrutura, atenuação do choque térmico ao material do molde, impede a soldadura do metal fundido à coquilha e possibilita a saída de ar preso na cavidade da coquilha.

A existência de uma espessura do revestimento inadequada reflecte-se num acabamento superficial desagradável e numa perda da exactidão dimensional. Os revestimentos das coquilhas são os seguintes: isoladores, lubrificantes ou ambos.

Um bom revestimento deve prolongar a vida da coquilha, não deve ser corrosivo, deve ser aderente, facilmente removível, manter o contacto directo com as superfícies da coquilha, inerte ao metal fundido e livre de materiais reactivos ou de materiais que produzem gás.

A vida do revestimento varia consideravelmente com a temperatura do metal que está a ser fundido, com o tamanho e a complexidade da cavidade da coquilha e com a taxa de vazamento. Algumas coquilhas requerem um novo revestimento no início de cada turno, enquanto outras aguentam vários turnos mediante reparações pontuais.

O metal a ser fundido tem uma grande influência no tipo de revestimento a ser seleccionado. Os revestimentos lubrificantes são usualmente utilizados para fundição de alumínio.

4.6.4. *FORÇA CENTRÍFUGA E VELOCIDADE DE ROTAÇÃO*

A velocidade de rotação é importante na qualidade do fundido, devendo-se posicionar fora da série de valores que promovam a frequência natural de vibração do conjunto. Uma velocidade adequada contribui para uma rápida solidificação, para uma diminuição de vibrações e para uma boa qualidade dos fundidos. A velocidade de rotação seleccionada depende da força centrífuga desejada, que deve estar compreendida entre 75 e 120 do factor G [16]. A fórmula utilizada no cálculo da força centrífuga é dada na seguinte equação 2 [16]:

$$F_c = \frac{m \times v^2}{r} \quad (2)$$

Onde:

F_c – Força Centrífuga (N);

m – Massa (kg);

V – Velocidade Periférica (m/s);

r – Raio da coquilha (m).

A força gravítica sobre o corpo é expressa pela equação 3 [16]:

$$F_g = m \times g \quad (3)$$

Onde:

F_g – Força gravítica (N);

m – Massa (kg);

g – Aceleração da gravidade (m/s²).

O factor pelo qual é calculada a força de gravidade é dado na equação 4 [16]:

$$Factor\ G = F_c \times \frac{1}{F_g} \quad (4)$$

Onde:

Factor G – Factor pelo qual se multiplica a força da gravidade;

Colocada em rotações por minuto N através da equação 5:

$$N = 42,3 \times \sqrt{\frac{Factor\ G}{d}} \quad (5)$$

Onde:

d – Diâmetro da coquilha (m).

No vazamento se o material vazado tem pouco movimento e a força centrífuga não actua de imediato, este tende então a ficar imóvel por inércia no centro, sendo assim a velocidade de rotação da coquilha deve ser regulada para garantir que o material adira às paredes o mais rápido possível, transmitindo-se o movimento por atrito. Certo é que, se a velocidade de rotação for excessiva, o metal líquido em vez de rodar com a coquilha “escorre” sem o acompanhar.

A força centrífuga gerada é óptima para preencher pequenas secções e manter um bom contacto entre o metal e a moldação permanente.

A velocidade de rotação da moldação é uma variável importante que afecta a velocidade de arrefecimento e consequentemente afecta o tempo de solidificação do material vazado. A velocidade de rotação aumenta a força centrífuga ao quadrado devido ao aumento da força de convecção do material [20]. Esta gera depois uma homogeneização da temperatura do material favorecendo o crescimento do grão de forma equiaxial.

No trabalho desenvolvido por Madhusudhan [21] nomeadamente, no estudo da velocidade de arrefecimento a diferentes velocidades de rotação concluiu-se que a velocidade de arrefecimento máxima rondava os 400 rpm, porque o movimento relativo entre o líquido com a moldação é aproximadamente nulo. Este trabalho é um pouco desfasado da realidade já que foi utilizado como material “vazado” a água que apresenta diferentes propriedades das ligas metálicas e para o registo era necessário parar a máquina o que introduz maiores erros de leitura.

No artigo de Yong [19] sobre a fundição centrífuga em materiais com gradiente funcional de propriedades que refere o gradiente provocado numa liga de Al-19Si-5Mg através da movimentação do silício primário e Mg₂Si ao longo de um fundido a diferentes rotações, concluindo o autor que as rotações de 800 rpm eram ideais para a criação de um gradiente funcional de propriedades.

A máquina de vazamento por centrifugação possui um variador de frequência que permite controlar a velocidade de rotação.

4.6.5. VELOCIDADE DE ARREFECIMENTO

A velocidade de arrefecimento é difícil de controlar dada a existência de muitos parâmetros, nomeadamente: térmicos, hidrodinâmica, solidificação e segregação de partículas. Como a coquilha é opaca e está em rotação não é possível visualizar a velocidade de arrefecimento na moldação, segundo Suzuki [18] esta necessita de ser investigada.

4.7. TIPOS DE LIGAS A VAZAR

As ligas vazáveis em moldações permanentes tem de apresentar um ponto de fusão baixo, uma boa fluidez, bem como um intervalo de solidificação tão pequeno quanto possível que não dissolvam gases ou, se dissolver, que não os liberte durante o arrefecimento. Pressupõem-se ainda que não sejam frágeis a altas temperaturas e não tenham grande coeficiente de contracção.

5. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Depois de uma análise profunda de todos os pontos importantes à realização do sistema de aquisição de dados como a fundição centrífuga, materiais com gradientes de propriedades, ligas a vaziar, equipamento de centrifugação centrífuga e os respectivos objectivos do projecto, desenvolve-se o estado da arte relativamente aos sistemas de aquisição de dados.

Nas décadas de 80 e 90 os sistemas de aquisição de dados ocupavam grandes dimensões e apresentavam um elevado custo, contudo com o desenvolvimento das tecnologias este tipo de sistemas tornaram-se vantajosos dado que se verificou a sua diminuição em termos de custo e dimensão. Esta redução de custo levou à propagação destes sistemas em toda a indústria [22].

Hoje em dia os sistemas de aquisição de dados são um meio largamente utilizado para a recolha de informação como temperatura, caudal, pressão etc... de diversos fenómenos físicos que acontecem durante um processo. A aquisição de dados é de certa forma um método para analisar e estudar o processo, de modo a obter um maior controlo sobre as variáveis e um melhor desempenho do processo.

O sistema de aquisição de dados difere dos tradicionais leitores de dados, já que nestes os dados são aprendidos para um computador onde são guardados ao longo do tempo e processados através de um software de controlo.

Estes sistemas de aquisição de dados envolvem a aquisição de sinais sob a forma de ondas e conjuntamente o processamento de sinais para obter a informação desejada.

Os sistemas de aquisição de dados contêm sensores apropriados que convertem qualquer parâmetro medido em um sinal eléctrico, o qual é adquirido pelo hardware de aquisição de dados. Os dados adquiridos são normalmente monitorizados, analisados e guardados num PC, através de um software interactivo de controlo.

O PC veio permitir a automatização dos processos de medição, aumentar a variedade de processamento dos dados e a uma capacidade ilimitada de armazenamento de dados [23].

5.1. ARQUITECTURA DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E PROCESSAMENTO DE SINAIS

Um sistema de aquisição de dados é constituído por sensores/transdutores, condicionamento de sinal, transmissão de sinal, computador (processador) e programa como se pode visualizar na figura 17.

Os capítulos seguintes explicam cada uma destas partes de um sistema de aquisição de dados.

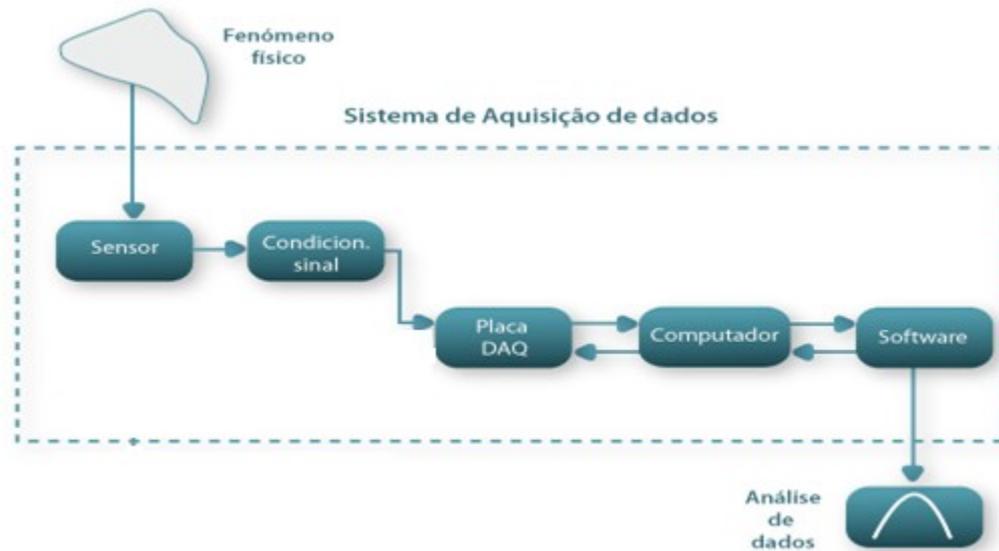


Figura 17 – Arquitectura de um sistema de aquisição de dados [24].

5.2. SENSORES E TRANSDUTORES

Os sensores são definidos como dispositivos que mudam o seu comportamento sob a acção de uma grandeza física. Os sensores em conjunto com os transdutores têm como funções a transformação das grandezas físicas em grandezas eléctricas realizando uma ligação directa entre o fenómeno real e o sistema de aquisição de dados (figura 18).

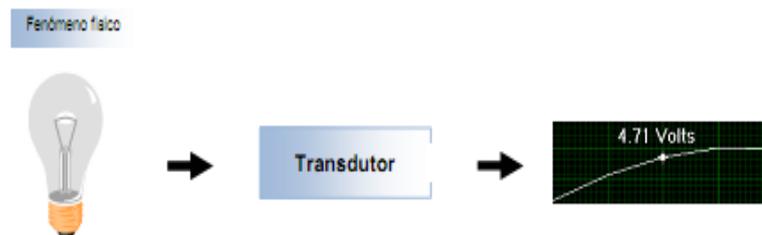


Figura 18 – Esquema de um transdutor eléctrico [25].

Existem diversos tipos de sensores/transdutores que medem variadíssimos fenómenos físicos, porém para este trabalho, os que interessam são aqueles que medem a temperatura ao longo de um determinado processo.

O sensor de temperatura não determina a temperatura directamente, mas a partir de efeitos por estes causados sobre uma substância, cujas suas propriedades são já conhecidas, sendo este construído com base nesse efeito.

De seguida realiza-se uma breve descrição das características dos sensores de temperatura permitindo assim uma primeira avaliação.

5.2.1. TERMÓMETRO DE DILATAÇÃO DE LÍQUIDO

Os termómetros de dilatação de líquido baseiam-se na expansão volumétrica de um líquido com o aumento da temperatura no interior de um recipiente fechado [26]. Este tipo de medidor de temperatura apresenta diferentes intervalos de indicação dependendo do tipo de líquido no seu interior por exemplo, o intervalo de indicação do mercúrio é de -38 a 450°C, enquanto o do álcool etílico de -100 a 70°C, já o do Xileno é de -40 a 400°C e o do Tolueno de -80 a 100°C.

Este tipo de sensores de temperatura apresentam um custo reduzido, tempos de resposta demorados, uma relação entre a temperatura do fluido e o volume não linear e uma grande dificuldade em registar e transmitir dados à distância.

5.2.2. TERMÓMETRO À DILATAÇÃO DE SÓLIDO (TERMÓMETRO BIMETÁLICO)

Baseia-se no fenómeno de dilatação linear dos metais com a temperatura. Este tipo de termómetro utiliza normalmente o material Invar (64% Fe e 36% Ni), tendo como características a elevada robustez, baixo custo, um intervalo de indicação de -180 a 430°C, tempo de resposta lentos, pouco precisos e problemas de histerese [26].

5.2.3. TERMÓMETROS DE PRESSÃO A GÁS

Este termómetro de pressão a gás é similar ao de dilatação de líquido, no entanto neste o volume é constante, sendo preenchido com um gás a elevada pressão que varia conforme a

temperatura. Este medidor de temperatura apresenta tempos de resposta na ordem dos 20 segundos e o aumento da temperatura não provoca uma variação linear da pressão [26].

5.2.4. *RTD OU TERMORRESISTÊNCIA*

As termorresistências baseiam-se na mudança da resistência ôhmica ocorrida nos metais com a variação da temperatura, já que nestes a resistência aumenta com o acréscimo da temperatura [27]. Os materiais mais utilizados nos RTD são a platina, o níquel, o cobre e o tungstênio.

Este tipo de sensores de temperatura tem como características a elevada estabilidade, reprodutibilidade e repetibilidade, bem como uma baixa influência a ruídos e um intervalo de indicação entre -260°C (platina) a 2700°C (tungstênio). Os RTD possuem ainda uma maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores, não apresentam limitação para distância de operação, são mais caros do que outros sensores de temperatura utilizados no mesmo intervalo de indicação, apresentam boa sensibilidade e tempo de resposta entre 0,5 a 5 segundos [27].

5.2.5. *TERMÍSTOR*

Sensor de temperatura que mede a temperatura por variação da resistência do material, este difere das termorresistências porque a variação da resistência é verificada num material semicondutor.

Os termístores são altamente não lineares, apresentam variações de resistência de 10% por 1°C , os intervalos de indicação são dependentes dos materiais usados podendo ir dos -100 a 300°C e o tempo de resposta pode variar entre 0,5 a 10 segundos [27].

5.2.6. *TERMOPARES*

Os sensores de temperatura que medem a temperatura a partir de uma força electromotriz gerada por dois metais com propriedades diferentes quando submetidos a temperaturas variadíssimas, designam-se por termopares [27]. A força electromotriz gera-se devido aos diferentes metais possuírem desiguais densidades de electrões livres e pelo facto da união destes metais provocar a migração desses electrões do lado de maior densidade para o de

menor, originando uma diferença de potencial. A variação da diferença de potencial é causada pela diferença da temperatura nas extremidades dos fios [26].

Os termopares são de vários tipos, dependendo da conjugação de fios metálicos envolvidos e encontram-se divididos em três classes: os termopares básicos que manifestam limites de erro maior e um baixo custo; os termopares nobres que apresentam elevado custo, exigindo instrumentos receptores de elevada sensibilidade já que possuem baixa potência termoelétrica e excelente precisão e por fim, os termopares especiais que favorecem uma característica para uma determinada utilização em decremento de outras restringindo a sua aplicação.

Os termopares apresentam as seguintes características: não necessitam de uma fonte de energia, são simples, de fácil montagem, com excelentes tempos de resposta e em conjunto têm um intervalo de medição entre -200 e 2700°C no entanto, são muito susceptíveis a ruídos eléctricos, necessitam de uma temperatura de referência e originam baixa voltagem.

5.2.7. PIRÓMETRO ÓPTICO

O pirómetro óptico funciona através de um medidor que compara a cor de um filamento aquecido ao rubro com a cor do objecto em medição. Esta cor do filamento é definida pela corrente eléctrica que circula pelo mesmo e é medida por um miliamperímetro com uma escala relativa à temperatura do objecto.

Um pirómetro óptico apresenta um intervalo de indicação que começa nos 600°C, uma precisão de $\pm 2\%$, um elevadíssimo custo, uma elevada resolução, sendo este também frágil e de fácil manuseio, com uma escala não linear e um elevado tempo de vida.

5.2.8. PIRÓMETRO DE RADIAÇÃO

Este sensor de temperatura utiliza a radiação térmica emitida pelo corpo para indicar a temperatura.

Estes sensores apresentam como características a alta sensibilidade, um intervalo de indicação entre -50 a 4000°C, tempos de resposta entre 0,1 a 0,2 segundos, não precisam de ser ajustados para a emissividade dos corpos em medição e um elevado custo.

5.3. CONDICIONAMENTO DE SINAL

Os sinais não devem ir directamente para o computador dado que ocultam frequências, voltagens, impedâncias muito altas ou baixas que afectam os resultados. O condicionamento de sinal é assim necessário para converter os sinais gerados pelos transdutores de modo a que o equipamento de aquisição possa receber o sinal adequadamente (figura 19).

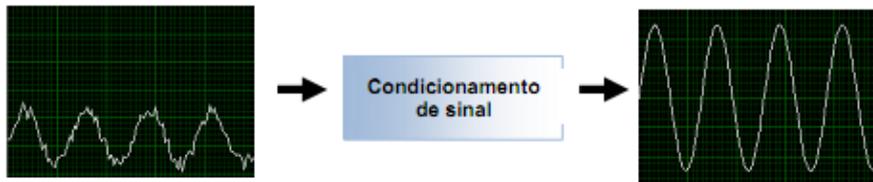


Figura 19 – Sinal antes e após o condicionamento de sinal [25].

O condicionamento de sinal necessário varia em função do fenómeno físico a ser medido (temperatura, pressão etc..) e do tipo de sensor/transdutor utilizado; por exemplo, os termopares precisam de ampliação, filtragem e compensação da junta fria, mas os termístores e RTD's necessitam de ampliação, filtragem e corrente de excitação [28].

O condicionamento de sinal era analógico, no entanto com o desenvolvimento da tecnologia este tornou-se digital pelo simples facto de ser um tipo de condicionamento extremamente poderoso, rápido e barato [22].

Um condicionamento de sinal pode ser executado por vários métodos e efectuar os seguintes condicionamentos:

Mudança de nível - Utiliza-se quando existe uma necessidade de amplificar ou atenuar o nível de uma voltagem;

Isolamento - Deve-se utilizar quando os sinais medidos pelos sensores contêm uma voltagem muito acima do valor máximo tolerável pelo circuito de condicionamento e para evitar a distorção de um sinal por causa da diferença de potencial da terra;

Multiplexagem - Método para medir diversos sinais com um único instrumento, funcionando como um interruptor entre os diferentes canais do condicionador de sinal [22];

Filtragem - Método que serve para de minimizar e/ou eliminar sinais indesejáveis;

Excitação - Este método utiliza-se quando existem transdutores que requerem uma tensão externa ou sinais de corrente de excitação;

Linearização - Serve para aumentar o grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física [26];

Casamento da impedância - Característica importante na interface entre sistemas, dado que diferentes impedâncias podem causar erros na medida da variável dinâmica;

Amplificação - Consiste em aumentar os sinais de baixa intensidade para uma intensidade superior, aumentando a resolução e diminuindo o ruído;

Compensação da junta fria - Técnica necessária para medições precisas em termopares, já que introduz a f.e.m. gerada na junta fria necessária para o cálculo da diferença de potencial;

Conversão do sinal analógico/digital (ADC) - Conversor que transforma uma entrada analógica de tensão ou corrente eléctrica num sinal digital proporcional [27]. Existem vários tipos de conversores analógico digital que diferem entre si quanto ao modo de funcionamento o que influencia a resolução e velocidade de conversão (ver anexo A, figura 55). Os diversos tipos de conversores são classificados como: integradores ou não e por conter ADC's (ver anexo A, figura 54).

Os parâmetros fundamentais na avaliação de desempenho do condicionamento de sinal são o número de entradas, a taxa de aquisição, a resolução, a precisão, o tempo de conversão por canal e a compatibilidade com outros componentes [25].

A taxa de aquisição de dados está associada à frequência de amostragem de sinais sendo esta um factor importante define o número de amostras discretas obtidas num período de tempo.

O teorema de Nyquist, afirma que a frequência de amostragem mínima (F_{s_MIN}) deve ser no mínimo igual ou duas vezes a frequência máxima do sinal de entrada (F_{IN_MAX}) para permitir que toda a informação sobre o sinal é guardada podendo-se voltar a construí-lo posteriormente [22].

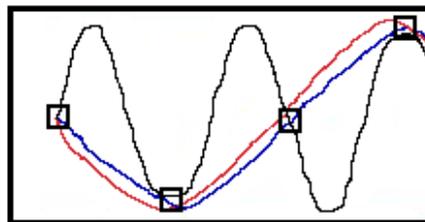


Figura 20 – Exemplo de uma frequência de amostragem inadequada [22].

O não cumprimento do Teorema de Nyquist leva ao aparecimento de interferências (figura 20).

Existem outros factores que influenciam a taxa de aquisição como por exemplo:

Tempo de aquisição (T_a) – É o tempo a partir do qual à saída do amostrador o sinal permanece dentro de uma faixa de erro especificada.

Tempo de abertura (T_p) - É o tempo entre o chamado de seguro (Hold) e a abertura da chave. É da ordem de 10 ns e o catálogo normalmente inclui o pior caso.

Tempo de acomodação (T_s) - É o tempo necessário para a acomodação da oscilação transiente do sinal.

A resolução do sinal de entrada analógico convertido para o formato digital depende do número de bits sendo o seu incremento favorável ao aumento da divisão da escala de tensão e à maior variação da tensão detectável [22]. A resolução é dada pela equação 6.

$$\text{Resolução} = \frac{G_s}{2^n} \quad (6)$$

Em que:

G_s = Gama de tensão de entrada (v);

n = número de bits.

5.4. TRANSMISSÃO DE SINAL

A transmissão de sinal representa a ligação entre os transdutores e os sensores até aos condicionadores de sinal e destes até ao resto do SAQD, existindo vários tipos de transmissores de sinal conforme o sistema de aquisição de dados pretendido.

Um transmissor de sinal deve transitar o sinal de um sistema para outro com o mínimo de interferência possível.

A transmissão do sinal pode ser realizada sob a forma de sinal analógico e digital [23]. O sinal analógico é um tipo de sinal contínuo que varia em função do tempo enquanto, o sinal digital é um sinal com valores discretos no tempo e amplitude (figura 21).

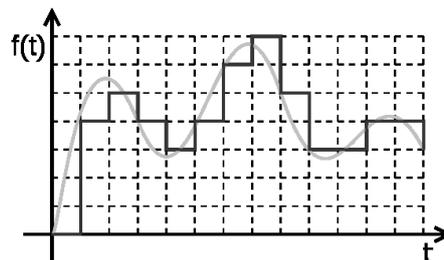


Figura 21 – Sinal analógico (cor cinza) e digital (cor preta) [23] .

Sendo que os dados transmitidos podem variar entre um valor mínimo e máximo, o sinal analógico passa por todos os valores intermediários possíveis enquanto o digital só pode assumir um número pré-determinado de valores. A digitalização de sinais analógicos é obtida através de três passos:

1. Amostragem: Discretização do sinal analógico original no tempo;
2. Quantização: Discretização da amplitude do sinal amostrado;
3. Codificação: Atribuição de códigos (geralmente binários) às amplitudes do sinal quantizado.

Os parâmetros fundamentais na selecção da transmissão de sinal são a velocidade de transmissão, a largura de banda e a sua blindagem contra a atenuação, a distorção, a interferência de ruídos, a dispersão e ao desvanecimento multi-percurso do sinal [29].

De seguida passam-se a citar os vários tipos de transmissão de sinal tal como as suas vantagens e desvantagens. É de realçar que estes sistemas podem ser divididos em dois grandes grupos: os de ligação física (transmissão Body) e os sem ligação física (transmissão wireless) entre o difusor e receptor.

5.4.1. *TRANSMISSÃO DE DADOS VIA BODY*

Por transmissão Body designam-se todos os tipos de transmissão que necessitam de uma ligação física, isto é, corpórea entre o difusor e receptor. Os tipos de transmissão Body são de seguida apresentados [26]:

- *Transmissão pneumática*

Na transmissão pneumática o sinal é transmitido pela variação do valor da pressão ao longo do tempo de um gás comprimido. Este tipo de transmissão tem como vantagens a sua utilização em indústrias onde o risco de explosão é elevado, porém apresenta como desvantagens o facto de necessitar de muitos equipamentos auxiliares, pelo atraso verificado na transmissão do sinal, pela sua incapacidade de ser enviado a longas distâncias, pelos vazamentos ao longo da linha de transmissão e por não permitir uma conexão directa com os computadores. O sinal transmitido também incorre a erros devido à pureza do gás comprimido, variações de temperaturas e pressão ao longo da linha.

- *Transmissão hidráulica*

A transmissão hidráulica realiza a transmissão de sinal através da variação de pressão exercida em óleos hidráulicos. Este tipo de transmissão é bastante útil para aplicações onde o binário é elevado ou quando se tem um processo que abrange pressões elevadas. As vantagens deste tipo de transmissão são a sua resposta rápida e a transmissão poder gerar forças que

permitem accionar mecanismos de enorme peso e dimensão. Relativamente às desvantagens salienta-se o facto de necessitar de tubulações de óleo tal como, de equipamentos auxiliares e não permitir a sua conexão directa com computadores.

- *Transmissão eléctrica*

A transmissão eléctrica é efectuada através de sinais eléctricos de corrente ou tensão. Este tipo de transmissão tornou-se muito usual em SAQD devido ao desenvolvimento da tecnologia que permitiu sobrepor-se a outras e pela sua disponibilidade no mercado. As vantagens deste tipo de transmissão são de possibilitar a transmissão de sinal a longas distâncias sem perdas, a alimentação pode ser realizada pelos próprios fios que transmitem o sinal, de possuir fácil conexão com computadores e o mesmo sinal pode ser lido por mais que um instrumento. Como desvantagens tem o risco de incêndio ou explosão aquando a falta de cuidados especiais.

- *Transmissão via modem*

A transmissão do sinal via modem é executada através das linhas telefónicas pela modulação do sinal em frequência e amplitude. As vantagens desta transmissão são o baixo custo da instalação e a possibilidade de transmitir dados a longas distâncias. As desvantagens da transmissão via modem são a necessidade de profissionais qualificados, a velocidade de transmissão de dados ser baixa e pelo facto desta poder ser alvo de interferência externa.

5.4.2. TRANSMISSÃO DE DADOS VIA WIRELESS

Este tipo de transmissão de sinal designa todos os tipos de transmissão de dados que se executa sem o uso de cabos ou fios. Os sistemas mais conhecidos na transmissão de sinal sem fio são ondas de rádios, infravermelho e laser.

Actualmente existem diversos tipos de tecnologias que utilizam o conceito de transmissão de ondas de rádios sendo as mais conhecidas seguidamente enunciadas:

- *Transmissão de sinal via Wi-fi;*
- *Transmissão de sinal via Zibbee;*
- *Transmissão de sinal via Bluetooth;*
- *Transmissão de sinal via Wimax;*

A transmissão de sinal por ondas de rádio é efectuada através do envio de sinais da estação difusora, numa faixa de frequência específica para uma estação receptora.

As vantagens da transmissão via rádio são que estas não necessitam de cabos de sinal e podem enviar sinais de medição e controlo de máquinas em movimento, contudo como desvantagens verifica-se o custo do investimento inicial ser elevado e a mão-de-obra precisar de ser qualificada.

No gráfico 1 visualiza-se as diferentes taxas de transferência de bytes por segundo e o alcance das várias tecnologias de transmissão de sinal sem fios.

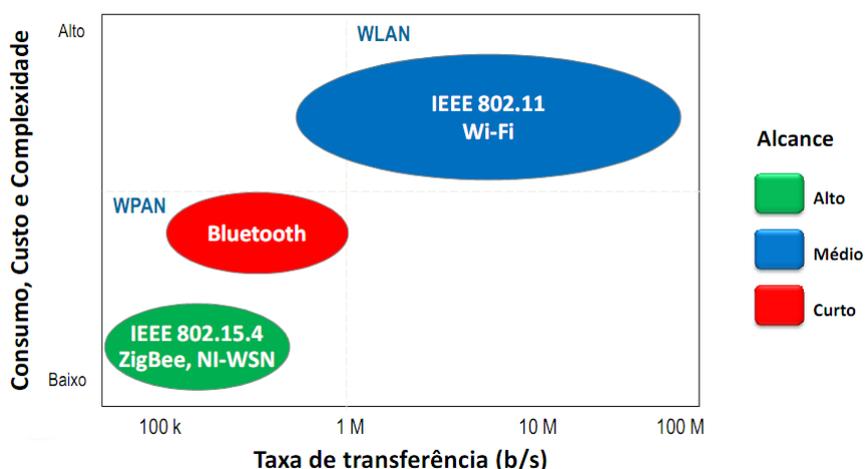


Gráfico 1 – Padrões em 2.4 GHz [28].

No gráfico 2 é possível ver que a diferença da velocidade de transmissão de sinal por USB (transmissão body) é 8 vezes superior aos 100 MB/s da transmissão por Ethernet (transmissão Wireless).

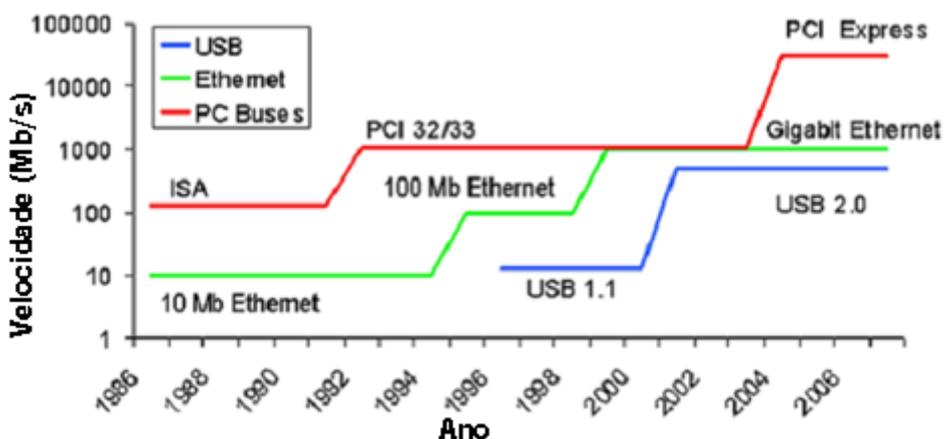


Gráfico 2 – Evolução da velocidade de transmissão de sinal para várias tecnologias (Adaptado) [28].

5.5. COMPUTADOR (PROCESSADOR)

O tipo de computador utilizado num SAQD influencia a velocidade com que se adquire os dados, bem como a precisão, o processamento e armazenamento destes.

Os factores mais relevantes de um computador, que afectam os parâmetros referidos são o processador, as placas de expansão e o tempo de acesso ao disco rígido. Estes tornam-se extremamente importantes quando se pretende efectuar leituras com elevadas transferências de dados.

Hoje em dia, os computadores já possuem todo o hardware necessário à medição, sendo este o responsável pela entrada dos sinais digitais que contêm informação acerca de um sistema ou processo, pela sua visualização, armazenamento e análise.

5.6. SOFTWARE

O equipamento de aquisição de dados não opera sem software, pois é o software que transforma e efectiva o sinal adquirido por este numa aquisição completa de dados, bem como a sua visualização e controlo. Os softwares disponíveis no mercado para efectuar aquisição de dados são variadíssimos, sendo que alguns são de carácter geral e outros específicos a certas aplicações industriais. Estes oferecem diferentes modos de interacção e linguagem de programação sendo necessário compreendê-los para assim escolher o mais adequado à aplicação em questão. Os softwares mais utilizados em SAQD no mercado são o Matlab, o Visual Basic, em C e o LabVIEW.

5.7. PROGRAMAÇÃO DO SOFTWARE

Muitos dos softwares existentes no mercado permitem ao utilizador programar o modo como recebe os dados, os visualiza e armazena. Estes programas têm funções que permitem modificar, visualizar ou guardar os dados adquiridos em tempo real para que se possa analisar e actuar conforme as necessidades do processo em questão.

Os parâmetros que conduzem à escolha do software são a sua facilidade de interacção com o utilizador, a compatibilidade deste com as restantes partes do SAQD e pelas necessidades de análise pretendidas.

5.8. TIPOS DE SAQD SEM FIOS QUE EXISTEM NO MERCADO

Após ter analisado a constituição dos sistemas de aquisição de dados realizou-se uma pesquisa sobre os tipos de equipamentos existentes no mercado com transmissão sem fios, de modo que foram encontrados diversas empresas comerciais como a *Omega*, *WilKerson Instrument*, *National Instruments (NI)*, *Measurement systems (MSI)*, *Art – control*, *Testo*, *HBM*, *Siemens* que comercializam este tipo de sistemas.

Dos equipamentos encontrados nessas empresas capazes de realizar transmissão sem fios destacam-se:

O UWTC-1 ou UWTC-2 da empresa *Omega* que permite a leitura de vários tipos de termopares, como uma taxa de aquisição de 1 amostra por cada 5 segundos, bem como a fonte de alimentação ser a bateria e possuir uma entrada analógica (figura 22). A *Omega* também apresenta sistemas de transmissão wireless para RTD [30].



Figura 22 – Transmissor e condicionador de sinal para termopares *Omega* [30].

O ZIGBEE 1082A da empresa *Art-control* que realiza a aquisição e condicionamento de sinal em termopares, através de 8 canais de entrada e uma resolução de 16 bit (figura 23).



Figura 23 – Transmissor e condicionador de sinal para termopares da *Art-control* [31].

O transmissor de sinal NI Wls/ENET-9163 da *National Instruments* (figura 24) ao qual se pode adicionar um cartão de condicionamento de sinal (figura 25) conforme o medidor de temperatura seleccionado, por exemplo para um termopar possui o NI ENET-9211, NI ENET-9213 e NI-ENET-9219 todos com diferentes características em termos de canais, taxa de aquisição e etc... [28].



Figura 24 – Transmissor de sinal NI Wls/ENET-9163 [28].



Figura 25 – Cartão de condicionamento de sinal [28].

A selecção do sistema de aquisição de dados vai depender do número de canais de entrada, da taxa de aquisição de dados, da resolução, da precisão, do peso, do consumo, da dissipação térmica, da temperatura de operação, do grau de poluição, do tempo de conversão do sinal, da velocidade de transmissão por wireless, do tipo de fonte de alimentação, da compatibilidade com outros componentes do SAQD, da fixação, da blindagem contra ruídos electromagnéticos, do custo e da sua disponibilidade.

6. ANÁLISE AO PROJECTO

Depois de analisar o equipamento, o processo e o objectivo da construção deste e se ter evidenciado a importância de um SAQD da temperatura na coquilha realiza-se uma análise de diversas questões que estão por resolver antes de seleccionar o sistema de aquisição de dados.

6.1. INTERVALO DE MEDIÇÃO

Uma das primeiras questões que se coloca é qual a gama de temperaturas que interessa medir. Esta questão foi resolvida com base no trabalho de Magalhães [4] e Silva [5] que referem que os materiais a vazarem no futuro para a realização de provetes com gradiente funcional de propriedades são diversas ligas de alumínio.

O intervalo de medição deve incluir a temperatura de fusão e solidificação do alumínio mais a temperatura de sobreaquecimento necessária e abranger a temperatura inicial da coquilha que pode variar entre os 100°C e 400°C.

Com base no que foi referido anteriormente o intervalo do sistema de medição de temperaturas tem de ser entre 80°C e 850°C.

6.2. RESOLUÇÃO

O SAQD pretende medir valores de temperatura na ordem de 1°C. Em metrologia tem-se que o instrumento de medição deve ter pelo menos uma resolução 5 vezes superior ao valor pretendido, logo este deve ter uma resolução de 0,2°C [32].

6.3. SENSORES DE TEMPERATURA

A escolha dos sensores de temperatura está dependente das dimensões do provete que são de 120x20x6 mm, da forma e dimensão da coquilha que tem um diâmetro de 400 mm e uma altura de 40 mm. Contudo, o processo de vazamento por centrifugação também é um factor importante para a selecção dos sensores de temperatura, já que estes irão estar sujeitos a uma força centrífuga que os pode mover durante o processo de vazamento alterando assim a sua posição que se manifestaria em erros de leitura da temperatura.

A medição de temperaturas é mais eficaz se for efectuada no provete ao invés de ser na coquilha e tentar-se estabelecer uma correlação com a temperatura na coquilha.

Outro aspecto também muito importante é saber em que ponto se deve medir a temperatura para elaboração de um gradiente de temperaturas ao longo do provete. Os pontos necessários para elaboração de um gradiente são três e estes tem de ser colocados no início, meio e no fim do provete. Esta localização dos termopares permite visualizar e estudar a velocidade de arrefecimento e o tempo de solidificação ao longo do provete, bem como no futuro estudar o momento em que se deve vazar a segunda liga para criar uma melhor interface ou ligação entre duas ligas de alumínio, criando assim, um material com um gradiente funcional de propriedades. As posições no provete são as seguintes: 1, 60 e 119 mm, sendo que a posição relativa dos sensores de temperatura face à cavidade moldante da coquilha é desenvolvida num capítulo posterior.

6.4. TAXA DE AQUISIÇÃO DA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

A selecção apropriada da taxa de aquisição da temperatura é de vital importância para a medição correcta do fenómeno físico, uma taxa de aquisição reduzida vai traduzir uma ideia errada de como se está a processar a velocidade de arrefecimento e o tempo de solidificação, conseqüentemente em trabalhos futuros não irá ser permitido visualizar o momento em que a primeira liga está a solidificar e com isso não vazar no tempo indicado a segunda liga.

A taxa de aquisição necessária vai ser dada em função do tempo de solidificação do provete a qual está dependente da velocidade de arrefecimento resultante do material, das dimensões e da temperatura da coquilha, do sistema de arrefecimento, do material, do volume e da temperatura da liga de alumínio a vazar, assim como do material, da espessura da protecção refractária e da temperatura ambiente.

De seguida apresentam-se os métodos utilizados para o cálculo do tempo de solidificação.

6.4.1. CÁLCULO DO TEMPO DE SOLIDIFICAÇÃO PELO MÉTODO DE CHVORINOV

O primeiro método utilizado para o cálculo do tempo de solidificação foi um método analítico denominado de método de Chvorinov.

O método de Chvorinov considera que a quantidade de calor cedido pelo material durante a solidificação depende de parâmetros como:

- T_v : Temperatura de vazamento no instante em que entra na moldação ($^{\circ}\text{C}$);
- T_L : Temperatura do início de solidificação ($^{\circ}\text{C}$);
- ΔT : Sobreaquecimento acima da temperatura de solidificação ($^{\circ}\text{C}$);
- C_e : Calor específico do material a ser vazado ($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$);
- C_L : Calor latente de fusão do material ($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$);
- M : Massa da peça a solidificar (kg);
- T_{im} : Temperatura da moldação na interface com o metal sólido ($^{\circ}\text{C}$);
- T_o : Temperatura inicial da moldação ($^{\circ}\text{C}$);
- V_a : Volume do metal a ser vazado (m^3);
- S_a : Área de superfície do metal a ser vazado (m^2);
- ρ_{metal} : Densidade (massa volúmica) do metal a ser vazado (kg/m^3).

Para o cálculo do tempo de solidificação não foi considerado o sistema de arrefecimento a água, a protecção refractária e o efeito da temperatura ambiente.

O cálculo do balanço térmico determina a quantidade de calor cedida pelo metal durante a solidificação e a quantidade de calor extraída através da moldação considerando que o processo de transferência de calor se realiza em regime estacionário, que o corpo em estudo tem paredes infinitamente espessas e planas, o fluxo de calor transmite-se numa única direcção, o material é homogéneo e isotrópico e que a difusibilidade é independente da temperatura caso contrário tornaria o cálculo de enorme complexidade o que simplifica-se a equação 7 de Fourier para a equação 8 [14]:

$$\text{lap}T = \frac{\delta T}{\delta t} \quad (7)$$

$$\alpha_{\text{mold.}} = \frac{K}{\rho C_e} \quad (8)$$

Onde:

$\alpha_{mold.}$: Difusibilidade térmica do material da moldação (m^2/s);

K: Condutividade térmica do material da coquilha ($W/m.^{\circ}C$);

ρ : Densidade do material da coquilha (kg/m^3);

C_e : Calor específico do material da coquilha ($J/kg.^{\circ}C$).

Considerando também a hipótese da transferência de calor (Q) “Newtoniana” na interface metal/moldação ser nula obtém-se a equação 9 [14]:

$$Q = \vartheta\sqrt{t} \quad (9)$$

Esta equação pode ser realizada em ordem ao tempo (t), escrevendo-se a equação 10 analítica da regra de Chvorinov que permite o cálculo do tempo de solidificação [14]:

$$t = \left(\frac{\rho_{metal} \times \sqrt{\pi \alpha_{mold.}} \times [C_e(metal) \times (T_v - T_L) + C_l(metal)]}{2K_{mold.} \times (T_{im} - T_o)} \right)^2 \times \left(\frac{V_a}{S_a} \right)^2 \quad (10)$$

O material vazado considerado para o cálculo do tempo de solidificação foi o material 3332.0 AISi9Cu3-T6.

O método de Chvorinov permite realizar a subdivisão da peça e o sistema de alimentação, podendo assim determinar qual solidifica primeiro, o que permite verificar se este tem uma alimentação correcta.

A tabela 1 apresenta o tempo de solidificação para cada módulo calculado com os mesmos parâmetros de entrada para a peça em estudo (ver secção 2.7).

Tabela 1 – Tempo de solidificação para cada módulo do cacho.

Parte	Peça	Canal de ataque	Poço
V_a (m^3)	1,43E-05	1,06E-06	3,87E-05
S_a (m^2)	6,38E-03	7,92E-04	6,21E-03
T_v ($^{\circ}C$)	730	730	730
T_o ($^{\circ}C$)	100	100	100
t (s)	0,95	0,34	7,35

Verifica-se que o canal de ataque solidifica em primeiro lugar seguido da peça e poço respectivamente, logo uma das conclusões a retirar é que a alimentação não será correcta, criando assim a necessidade de fazer algo para melhorar a alimentação da peça. Também se

apura que o tempo de solidificação é muito pequeno o que se torna imperativo contrariar esta situação. Uma das soluções estudadas para ampliar o tempo de solidificação foi aumentar as dimensões da peça e para isso recorreu-se à figura 16 onde se evidencia que a espessura mínima de uma coquilha deve ser em função do diâmetro interior da peça. Deste modo, as dimensões da peça foram alteradas para 120x20x10 mm e os canais de ataque para 8x6x33 mm.

Os resultados do tempo de solidificação para a peça com as dimensões modificadas são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de solidificação para a peça modificada.

Parte	Peça
V_a (m ³)	2,39E-05
S_a (m ²)	7,46E-03
T_v (°C)	730
T_o (°C)	100
t (s)	1,94

A outra solução passou por aumentar a temperatura da coquilha revelando-se uma boa solução já que o tempo de solidificação aumenta e possibilita um aumento da vida da moldação. Os resultados do tempo de solidificação são visíveis na tabela 3.

Tabela 3 – Tempo de solidificação com o aumento da temperatura da coquilha.

Parte	Peça			
V_a (m ³)	2,39E-05	2,39E-05	2,39E-05	2,39E-05
S_a (m ²)	7,46E-03	7,46E-03	7,46E-03	7,46E-03
T_v (°C)	730	730	730	730
T_o (°C)	100	200	300	400
t (s)	1,94	4,17	14,56	855,75

Por fim aumentou-se a temperatura de vazamento e os resultados do tempo de solidificação são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de solidificação com o aumento da temperatura de vazamento.

Parte	Peça
V_a (m ³)	2,39E-05
S_a (m ²)	7,46E-03
T_v (°C)	830
T_o (°C)	100
t (s)	5,85

No entanto a regra de Chvorinov é um método analítico que não considera todos os fenómenos e simplifica alguns, logo está um pouco desfasada da realidade o que para uma melhor aproximação recorreu-se ao software Novaflow & Solid CV.

6.4.2. CÁLCULO DO TEMPO DE SOLIDIFICAÇÃO PELO SOFTWARE NOVAFLOW & SOLID CV

O Novaflow & Solid CV é um programa para simular o enchimento do molde e a solidificação tendo por base a mecânica de fluidos e a transferência de calor. Este programa permite importar os desenhos 3D das peças que se quer simular permitindo utilizar um conjunto de processos de fundição de peças por exemplo a fundição em coquilha e definir completamente a liga a vaziar. Através da simulação pode-se analisar o modo de enchimento, o tempo de solidificação, possíveis defeitos nas peças, inclusões de óxidos, rechupes e com isso produzir uma optimização da peça e do processo. Os passos efectuados na análise da peça por fundição em coquilha foram:

1. Elaboração do desenho de conjunto em Solidworks seguido da gravação num ficheiro stl;
2. Abertura do Novaflow & Solid CV;
3. Elaboração da liga a vaziar, neste caso foi a 332.0 AISi9Cu3-T6;
4. Ir às definições para seleccionar as unidades de medida e outras;
5. Importação da peça pelo 3D import, a sua colocação no eixo correcto, fixação da orientação, a construção de um CVgeo e procedendo à gravação do ficheiro;
6. Ir às definições iniciais para criação de uma malha com uma dimensão de célula de 2 mm e definir a dimensão da caixa (tabela 5);
7. Definição de parâmetros importantes e características dos materiais envolvidos, por exemplo a temperatura inicial;
8. Colocação do ponto de vazamento e definição do plano de vazamento (tabela 6);
9. Definição do refractário e da espessura deste;
10. Selecção da tecnologia de fundição e suas características;

Tabela 5 – Características da moldação e posição do fundido.

Espessura da moldação mínima:		0 mm
Dimensão da caixa da moldação em	x:	383,839 mm
	y:	385,857 mm
	z:	45,848 mm
Posição do fundido em	x:	191,92 mm
	y:	190,929 mm
	z:	27,424 mm

Tabela 6 – Posição e plano de vazamento.

Posição do ponto de vazamento	x:	189,00 mm
	y:	192,00 mm
	z:	42,00 mm
Plano de vazamento		-z

11. Colocação dos sensores de temperatura no provete (tabela 7) (figura 26);

Tabela 7 – Localização dos sensores.

Provete		P _i – Provete inicial			P _m – Provete modificado		
Sensores	Posições (mm)	x	y	z	x	y	z
	S ₁		189,00	18,00	25,70	189,00	18,50
S ₂		189,00	18,00	22,80	189,00	18,50	21,00
S ₃		189,00	18,00	19,90	189,00	18,50	16,20
S ₄		189,00	78,00	25,70	189,00	78,50	25,70
S ₅		189,00	78,00	22,80	189,00	78,50	21,00
S ₆		189,00	78,00	19,90	189,00	78,50	16,20
S ₇		189,00	138,00	25,70	189,00	137,00	25,70
S ₈		189,00	138,00	22,80	189,00	137,00	21,00
S ₉		189,00	138,00	19,90	189,00	137,00	16,20

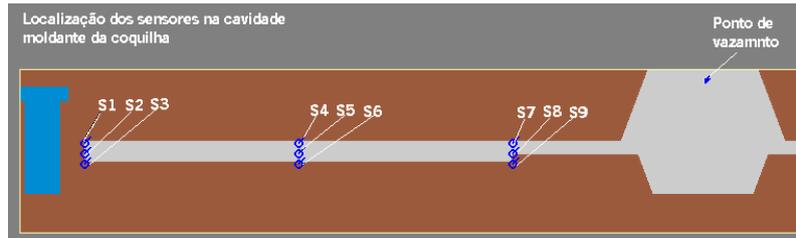


Figura 26 – Localização dos sensores na cavidade moldante.

12. Gravação do ficheiro;
13. Ir ao Flow e solid, carregar o ficheiro e iniciar a simulação;
14. Em Browser observar os dados da simulação em particular os gráficos da velocidade de arrefecimento e temperatura nas sua diversas posições e tempos de solidificação local.

Foram efectuados dezenas de testes com outras versões de provetes e condições mas os que se reconheceram como relevantes são apresentados na tabela 8 e tabela 9.

Tabela 8 – Testes e parâmetros de cada teste efectuado.

Provete	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P _{M9}
Temp. vazamento	730	730	800	730	730	730	730	800	730
Temp. Ambiente (°C)	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20
Temp. coquilha (°C)	100	100	100	100	200	300	400	400	100
Tinta refractária	Não	Sim							
Espessura da tinta (mm)	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Sist. de arrefecimento	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Temp. da água (°C)	-	-	-	20	20	20	20	20	20
Força centrípeta	Não								
Valor (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 9 – Testes e parâmetros de cada teste efectuado, continuação.

Provete	P _{M10}	P _{M11}	P _{M12}	P _{M13}	P _{M14}	P _{M15}	P _{M16}	P _{M17}	P _{M18}
Temp. vazamento (°C)	730	730	730	730	730	730	730	800	800
Temp. Ambiente (°C)	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20	± 20
Temp. coquilha (°C)	200	300	400	400	400	400	400	400	200
Tinta refractária	Sim								
Espessura da tinta (mm)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Sist. de arrefecimento	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Temp. da água (°C)	20	20	20	-	20	20	20	-	-
Força centrípeta	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Valor (N)	-	-	-	-	± 128	± 170	± 213	± 170	± 170

Algumas notas:

- No sistema de arrefecimento considerou-se que fluido estava em constante renovação como está projectado na máquina.
- Como o Novaflow & Solid CV não tem fundição centrífuga a força centrífuga foi calculada através dos valores da força G obtidos no trabalho de Magalhães [4] e Silva [5] e de seguida foi convertida numa pressão, a qual foi aplicada ao processo envolvido, tentando deste modo, simular melhor a realidade.

Os resultados foram os seguintes:

P_{i1} – O material vazado não chegou a encher totalmente a cavidade moldante, sendo o tempo de solidificação na peça na ordem dos $\pm 0,3$ segundos (figura 27).

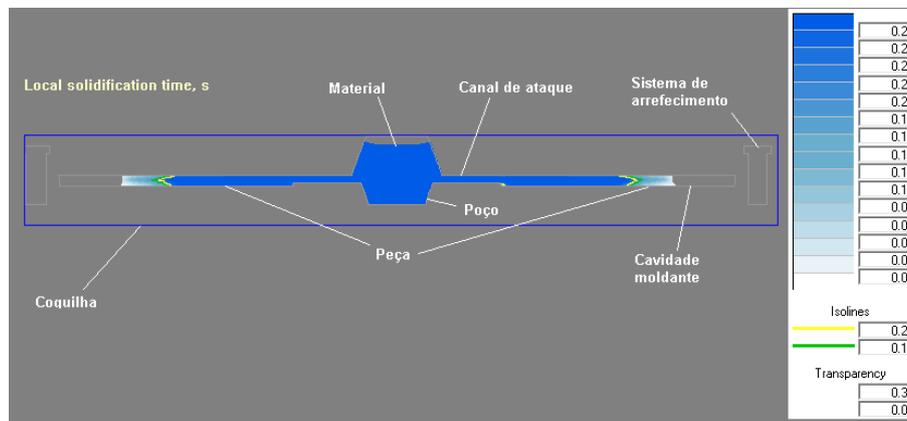


Figura 27 – Tempo de solidificação para o teste P₁₁.

P_{i2} – Com a introdução da tinta refractária a cavidade moldante da coquilha encheu totalmente, sendo que o tempo de solidificação na peça aumentou consideravelmente para ± 20 segundos (anexo B, figura 56).

P_{i3} – O aumento da temperatura de vazamento para os 800°C não se traduziu num aumento significativo do tempo de solidificação.

P_{i4} – Alterou-se a temperatura de vazamento para 730°C e procurou-se ver o efeito do sistema de arrefecimento. Os resultados demonstram que o sistema pouco alterou o tempo de solidificação este continuou ± 20 segundos, contudo auxiliaram no melhoramento do arrefecimento progressivo ao longo do provete.

P_{i5} – Modificando a temperatura da coquilha para os 200°C os resultados demonstram que o tempo de solidificação na peça aumentou para os ± 28 segundos.

P_{i6} – Aumentou-se a temperatura da coquilha para os 300°C os resultados demonstram que o tempo de solidificação na peça aumentou para os ± 40 segundos.

P_{i7} – Mudando a temperatura da coquilha para os 400°C os resultados demonstram que o tempo de solidificação na peça aumentou para os ± 80 segundos.

P_{i8} – Aumentou-se a temperatura de vazamento para os 800°C e verificou-se novamente que o tempo de solidificação aumentou embora seja um aumento pouco significativo.

P_{M9} – Alterou-se as dimensões da peça, pôs-se novamente a temperatura de vazamento a 730°C e a temperatura da coquilha a 100°C verificou-se que em relação ao tempo de solidificação de **P_{i4}** aumentou o tempo de solidificação na peça para os ± 30 segundos.

P_{M10} – Relativamente ao anterior mudou-se a temperatura da coquilha para os 200°C e o tempo de solidificação na peça passou para os ± 40 segundos.

P_{M11} – Aumentou-se a temperatura da coquilha para os 300°C os resultados demonstram que o tempo de solidificação na peça aumentou para os ± 60 segundos.

P_{M12} – Mudando a temperatura da coquilha para os 400°C os resultados demonstram que o tempo de solidificação na peça aumentou para os ± 116 segundos.

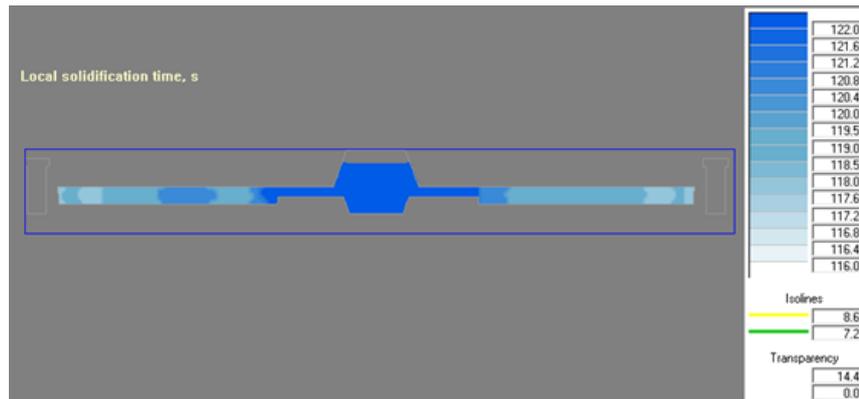
P_{M13} – Agora sem o sistema de arrefecimento a água o tempo de solidificação mantêm-se praticamente inalterável.

P_{M14} – Novamente com o sistema de arrefecimento mais a introdução da simulação da força centrífuga o tempo de solidificação não sofreu qualquer alterações.

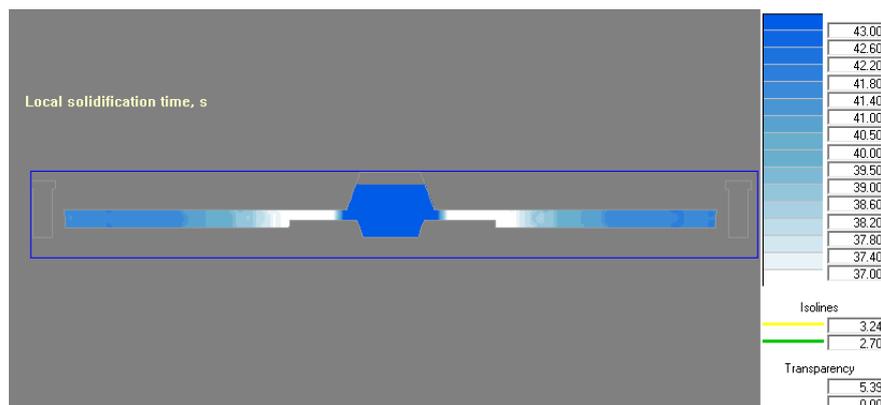
P_{M15} – O aumento da força centrípeta o tempo de solidificação não sofreu qualquer alterações.

P_{M16} – Um novo aumento da força centrífuga não provocou no tempo de solidificação quaisquer alterações.

P_{M17} – Agora sem o sistema de arrefecimento o tempo de solidificação na peça é na ordem dos ± 118 segundos (figura 28).

Figura 28 – Tempo de solidificação para o teste P_{M17}.

P_{M18} – Este teste tenta idealizar as condições de vazamento que apesar de não serem as pretendidas por diversas razões são as mais próximas do que se vai efectuar na prática. Neste teste a coquilha tem uma temperatura de vazamento de 200°C e não tem sistema de arrefecimento. O tempo de solidificação na peça é agora na ordem \pm 39 segundos tal como a figura 29 evidencia, esta permite ainda verificar que o sentido de arrefecimento inverteu-se devido ao facto de já não possuir o sistema de arrefecimento.

Figura 29 – Tempo de solidificação para o teste P_{M18}.

Comentários:

- É essencial revestir a coquilha com um protector refractário.
- O aumento da temperatura de vazamento tem um pequeno efeito no tempo de solidificação.
- O aumento da temperatura da coquilha é o factor que mais contribui para o aumento do tempo de solidificação.
- A alteração das dimensões da peça traduziu um aumento razoável do tempo de solidificação.
- A força centrífuga não influenciou o tempo de solidificação.

- O sistema de arrefecimento influencia o sentido da solidificação no provete.
- O sistema de arrefecimento como está idealizado no software não traduz uma diminuição significativa do tempo de solidificação porém como não se introduziu o caudal não se pode compreender com que velocidade se efectua a transferência de calor entre a coquilha e a água.
- O canal de ataque solidifica primeiro que a peça traduzindo-se num aumento de rechupes, a solução poderia passar por alterar a forma e dimensão do canal de ataque no entanto vai-se colocar um revestimento com uma espessura maior nessa zona.

Com estes testes visualizaram-se os tempos de solidificação e as condições de solidificação que melhor se poderão ajustar para a selecção da taxa de aquisição do sistema de aquisição de dados.

Quanto à localização dos sensores de temperatura considerou-se que podiam posicionar-se no topo, no meio e no fundo da cavidade moldante da coquilha.

Os testes realizados em Novaflow & Solid CV revelam que as variações de temperatura são pequenas entre os sensores para os provetes iniciais, este facto acontece por causa das dimensões do provete também o serem (gráfico 3) (gráfico 4).

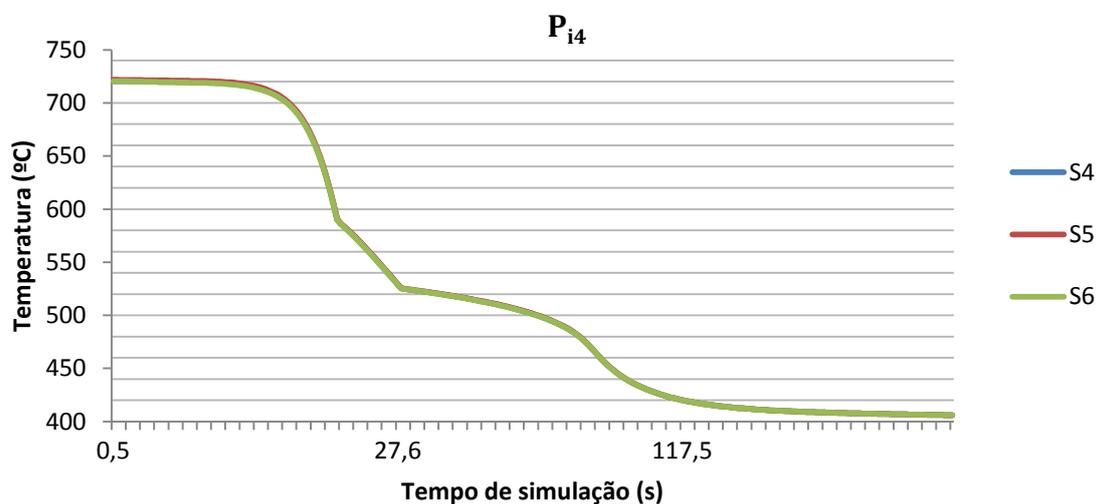


Gráfico 3 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P₁₄.

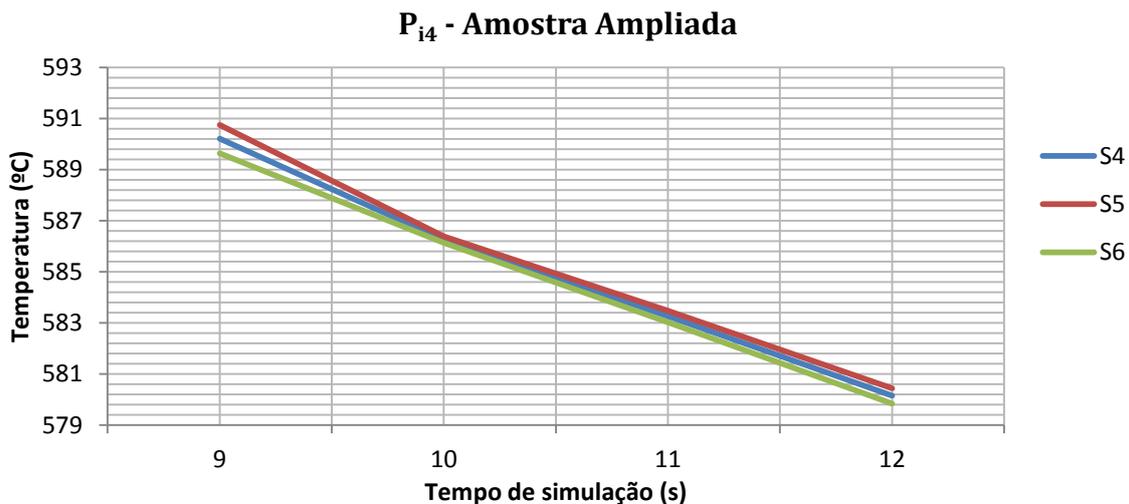


Gráfico 4 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P_{i4} amostra ampliada.

Para os provetes que sofreram modificações de dimensão estas diferenças são mais significativas (gráfico 5 e gráfico 6).

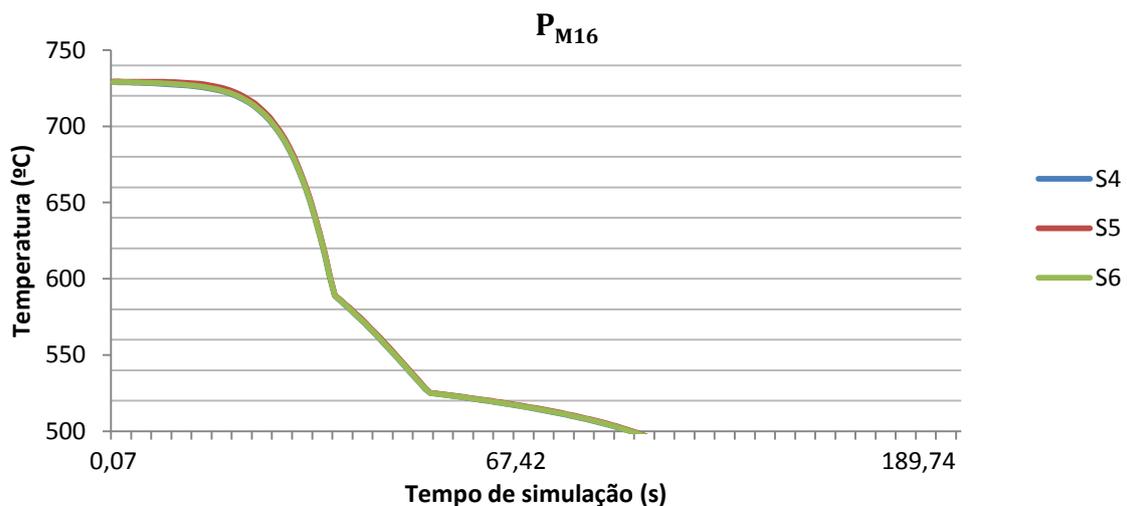


Gráfico 5 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P_{M16}.

P_{M16} - Amostra ampliada

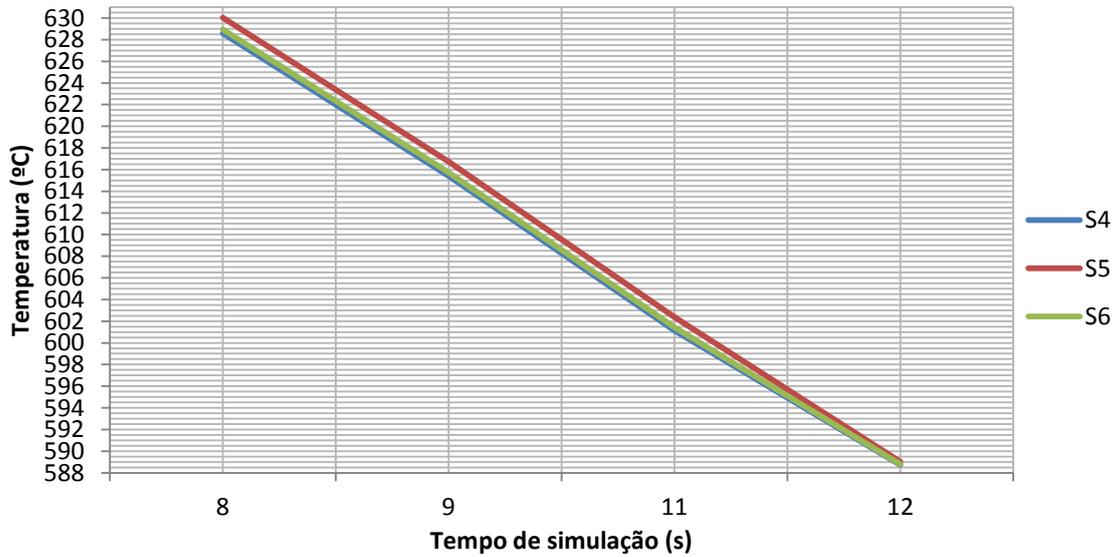


Gráfico 6 – Diferenças de leitura de temperatura entre os sensores de medição para o teste P_{M16} amostra ampliada.

Relativamente aos gráficos anteriores observa-se também que para o mesmo tempo de simulação a temperatura do gráfico 4 é superior à do gráfico 3.

Existem também em alguns casos em que o sensor se encontra muito perto da parede da cavidade moldante da coquilha (figura 30), ao que leva este a ter um comportamento muito diferente dos outros no registo da temperatura (gráfico 7).

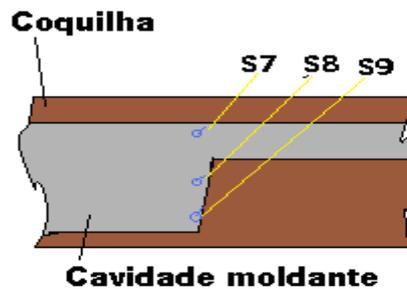


Figura 30 – Vista representativa de parte da coquilha com localização dos sensores.

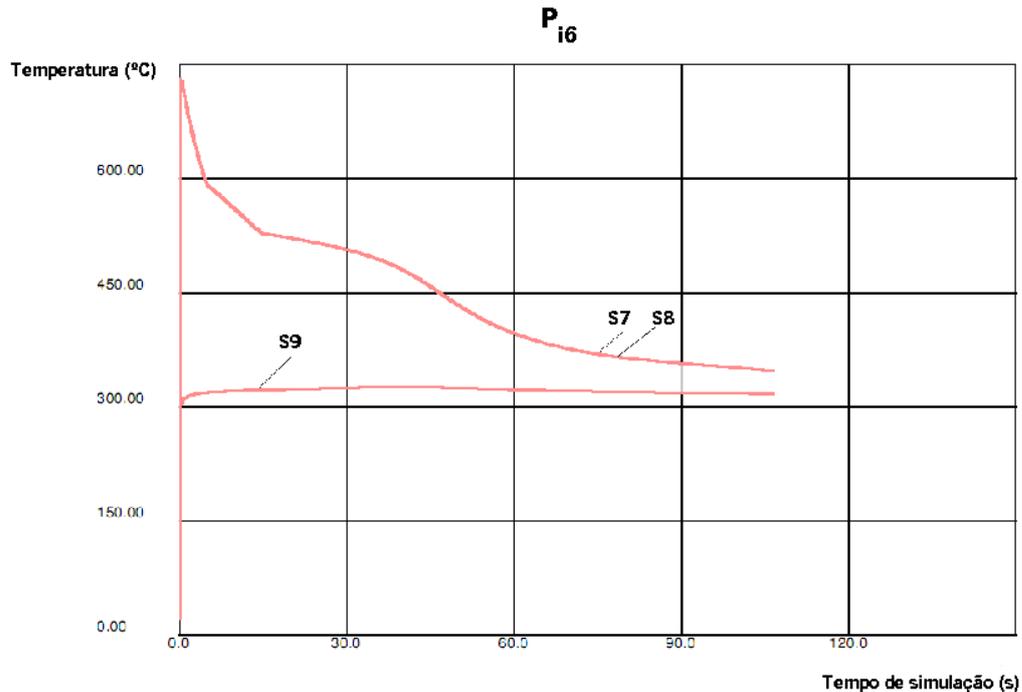


Gráfico 7 – Diferenças entre leitura de temperatura para sensores de temperatura muito perto da coquilha.

Os resultados apresentados nos gráficos anteriores indicam que os sensores de temperatura não devem estar muito perto ou em contacto com a coquilha porque aí não se consegue detectar o momento em que se deve vaziar a segunda liga dado que as temperaturas são sempre inferiores à temperatura de solidificação da primeira liga de alumínio.

A análise da localização dos sensores realizada no Novaflo & Solid CV concluiu que os sensores devem estar no centro da cavidade moldante nas posições indicadas na figura 31.

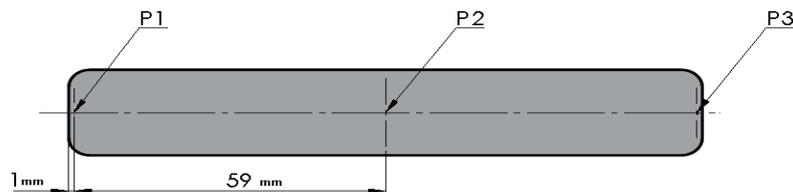


Figura 31 – Provette com as posições dos sensores de temperatura.

6.5. VIBRAÇÃO

A vibração é na sua base uma energia perdida e indesejável na maioria dos casos porque têm como consequência o barulho, a falha de componentes, a produção de movimentos indesejáveis, o alívio de apertos e a fractura de soldas em equipamentos.

A máquina de vazamento por centrifugação tem uma vibração periódica já que o seu funcionamento é cíclico [8] [33].

A diminuição da vibração pode ser conseguida por três procedimentos: eliminação das fontes (balanceamento, alinhamento, troca de peças defeituosas, aperto de bases soltas), isolamento das peças (colocação de elementos amortecedor) e atenuação da resposta (alteração da estrutura através de massas, reforços e mudança da frequência natural) [34]. Nesta máquina a vibração gerada resulta essencialmente de desequilíbrios de massa, desalinhamento de eixos, dos rolamentos e do motor eléctrico. Para diminuir as vibrações na máquina referidas, já estão introduzidos dois sistemas, nomeadamente o sistema de equilíbrio de massas e o sistema anti-vibração.

Com a introdução do SAQD é necessário ter a preocupação para que este não provoque maiores desequilíbrios e que a vibração gerada durante o funcionamento do equipamento não danifique o SAQD.

6.6. EFEITO DO CAMPO ELÉCTRICO MAGNÉTICO

O sistema de aquecimento será futuramente instalado através de uma bobine de indução que gera um campo magnético na coquilha através da passagem da corrente eléctrica na espiral. Esta passagem da corrente eléctrica vai aumentar a temperatura na coquilha devido à elevada frequência de corrente, que induz um campo magnético em materiais como o ferro, o níquel e em algumas ligas metálicas (Aço) as correntes de Foucault, que dissipam-se através do efeito de joule [6]. Como materiais não magnéticos têm-se o alumínio, madeira, plástico entre outros.

O problema que se coloca aqui é qual o efeito que este campo magnético provocará no sistema de aquisição de dados designadamente nos sensores de temperatura, já que se estes forem materiais magnéticos irá ser induzida uma corrente eléctrica que pode alterar o valor medido da temperatura na cavidade moldante da coquilha.

A maioria dos sensores de temperatura sofre alterações na presença de um campo magnético, no entanto uma grande parte é susceptível de ser corrigido através de uma calibração. Os sensores de medição apresentam também diferentes percentagens de erro relativo à temperatura consoante a magnitude do campo magnético e temperaturas, como se pode observar na tabela 10 e tabela 11 do anexo B.

6.7. COLOCAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS NA MÁQUINA

Visualizando a figura 4, é fácil de compreender que o equipamento não tinha sido pensado para a colocação posterior de um SAQD. Por outro lado entende-se que o sistema de aquisição de dados terá de estar em rotação com a coquilha para que os fios dos sensores de temperatura não se envolvam, além disso este deve estar o mais afastado da coquilha para que não sobreaqueça. Observando a figura 4 percebe-se que o local ideal para a colocação do SAQD é no veio entre o rolamento de carga axial superior e os tubos de arrefecimento.

6.8. PROTECÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

A protecção mineral de um sistema de medição temperatura permite isolar e protegê-lo da atmosfera exterior, aumentar a sua durabilidade, melhorar a sua estabilidade, visto que os condutores estão melhor protegidos contra gases e outras condições ambientais, aumentar a sua resistência mecânica já que os sensores de temperatura estarão melhor posicionados e a sua bainha de protecção protege-os contra pressões externas e choque térmicos, maior impermeabilidade a água, óleos e gases, maior resistência à corrosão e uma melhor protecção electrostática.

7. SELECCÇÃO E PLANO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Depois da análise à arquitectura de um sistema de aquisição de dados e do projecto apresentam-se neste capítulo o processo de selecção dos componentes e o plano de instalação do SAQD que melhor correspondem aos objectivos apontados.

7.1. *SENSORES/TRANSDUTORES*

Os requisitos exigidos para os sensores/transdutores são os seguintes: permitir leituras de temperatura em ligas de alumínio, estas compreendidas entre 200°C e 850°C, que apresentem uma frequência de resposta elevada, fácil modo de instalação e manutenção, simplicidade de utilização, fiabilidade, boa exactidão, boa resolução, baixo custo e a sua baixa sensibilidade a efeitos do campo magnético produzido por uma bobine de indução.

O termómetro de dilatação de líquido, de dilatação de sólido, a gás e o termístor são eliminados por não corresponderem ao intervalo de indicação entre outros pontos. Os pirómetros são eliminados devido ao elevado custo (ver anexo C da tabela 12). Dentro dos RTD e termopares o constituído por níquel, cobre e o do tipo T são excluídos pelo seu intervalo de medição não cumprir o requisito (ver anexo C tabela 13). Os que restaram RTD de platina e tungsténio e os termopares do tipo J, K, E, N, R, S, B, G, C, D foram avaliados em função dos custos, características (ver anexo C tabela 15) e disponibilidade, deste modo, foram seleccionados os termopares do tipo K e tipo E, que estão disponíveis no laboratório do DEM.

Realizaram-se testes experimentais utilizando termopares dos tipos K e E para tentar verificar qual deles era mais sensível à influência de um campo magnético (ver procedimento no anexo C). Para isso foi necessário recorrer a uma bobine de indução e a um sistema de aquisição de dados onde estavam ligados três termopares um do tipo E, outro do tipo K e um padrão do tipo K, este sem efeito do campo magnético (figura 32), aos quais se realizaram dois tipo de testes: o primeiro relativo à alteração do sinal aquando o campo magnético passa entre os fios, estando as pontas sem influência do campo magnético e à temperatura ambiente e um

segundo teste relativo aquando as pontas dos termopares estão no interior do campo magnético. Durante os testes fazia-se variar a corrente no interior da espiral alterando assim o valor do campo magnético. Estes testes não consideraram a variação do efeito do campo magnético sobre os termopares a altas temperaturas, nem a diferente espessura dos fios e a posição relativa do campo aos termopares.

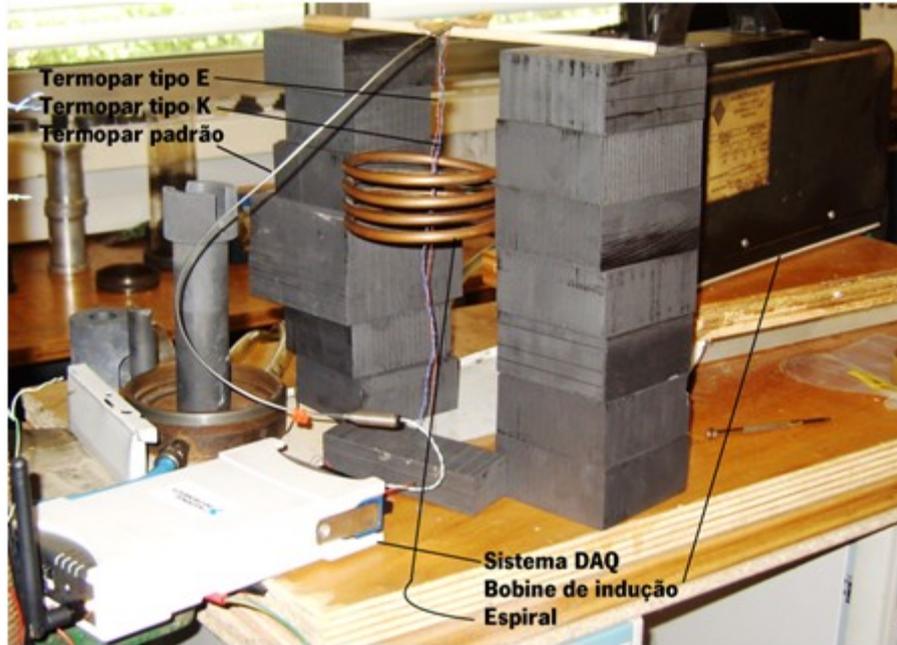


Figura 32 – Montagem do sistema dos termopares sob o efeito do campo magnético.

Os termopares foram torcidos de forma a minimizar os ruídos provocados pelo campo magnético. A torção dos cabos faz que a corrente induzida se anule, atenuando este tipo de interferência, sendo que quanto maior o número de torções maior a eficiência contra este tipo de ruído [35].

Os resultados dos testes descritos anteriormente são apresentados nos seguintes gráficos:

Variação da temperatura no fio do sensor no interior de um campo magnético

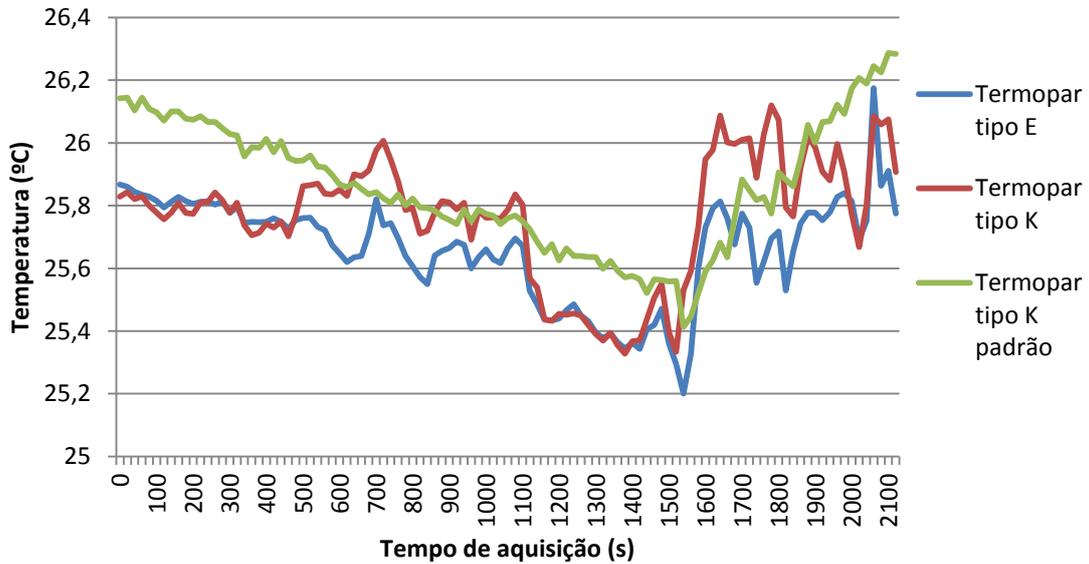


Gráfico 8 – Variação da temperatura nos termopares antes e após a introdução de um campo magnético ao longo dos fios.

Variação da temperatura na ponta do sensor no interior de um campo magnético

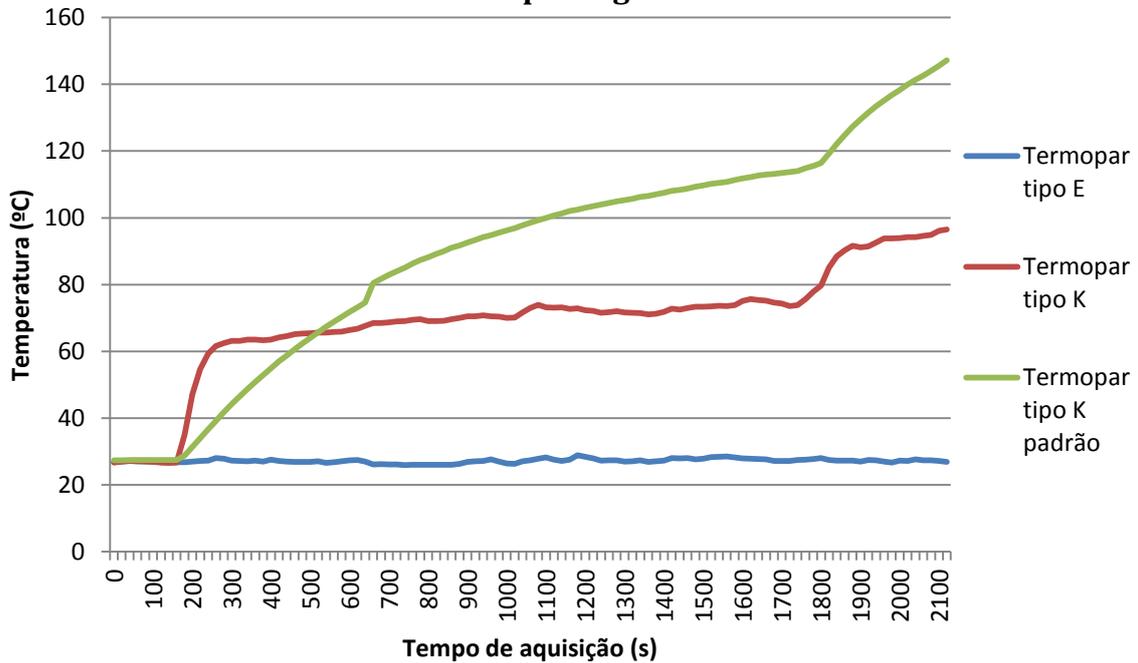


Gráfico 9 – Variação da temperatura no sensor antes e após a introdução de um campo magnético na ponta dos termopares.

Comentários:

Os resultados apresentados no gráfico 8, não evidenciam grande variação da temperatura nos termopares com a variação do campo magnético, aliás esta variação até se pode dar devido a gradientes de temperatura ambiente nas pontas dos termopares, sendo assim inconclusivos.

A torção do fio revelou-se uma ótima solução contra as interferências de ruído provocadas pelo campo magnético.

Os resultados apresentados no gráfico 9, aquando a introdução das pontas dos termopares no interior do campo magnético revelam que aquele que sofre menor influência é o termopar do tipo E. Este factor deve-se às propriedades magnéticas dos materiais dos termopares.

Segundo Inyushkin [36] os termopares do tipo E apresentam uma pequena variação na leitura em campos magnéticos até 15 T sendo facilmente reproduzível por calibração. Por isso futuramente recomenda-se uma avaliação dos termopares e posterior calibração após a instalação da bobine de indução no equipamento para se obter uma melhor aproximação da realidade.

A escolha recaiu naturalmente sobre os termopares do tipo E (figura 33) já que estes estavam disponíveis no Departamento de Engenharia Mecânica tendo assim um custo de aquisição nula.



Figura 33 – Termopar do tipo E [30].

Estes termopares têm as seguintes características específicas:

Marca: Omega;	f.e.m. produzida: -9,835 mV a 76,373 mV;
Modelo: SA1- (E) -120;	Liga:
Frequência de resposta: 0,3 segundos;	(+) Chromel - Ni90Cr10;
Sensibilidade: 68 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$;	(-) Constantan - Cu58 Ni42;
Gama de utilização: -270 $^{\circ}\text{C}$ a 1000 $^{\circ}\text{C}$;	Diâmetro do fio: 0,3 mm.

Este tipo de termopar é utilizado na indústria química e petroquímica pela sua resistência à oxidação e normalmente não é aplicado em fundição pela sua robustez ser inferior ao do tipo K.

Outro factor que levou à escolha do termopar do tipo E é o diâmetro do fio ser menor do que o do tipo K, logo este terá menor influência sobre as características do fundido final e não prejudica tanto o escoamento do fluido para o interior da cavidade moldante.

7.1.1. *PROTECÇÃO DOS TERMOPARES*

Devido aos ruídos externos existentes e para uma maior resistência dos termopares a altas temperaturas são aplicadas protecções cerâmicas nos termopares (figura 34).



Figura 34 – Protecção de termopar [30].

Existem no mercado diversas protecções de termopar que diferem em tamanho e material. Os materiais normalmente utilizados em protecções de termopares são a Alumina, a Mulita, o Carboneto de silício e o Zircónio. A escolha recaiu sobre uns isoladores cerâmicos presentes no laboratório de fundição do DEM. Estes têm as seguintes características:

Marca: Omega;

Modelo: Omegatite 200;

Constituição 80% Mulite e 20% Fibra de vidro;

Temperatura de serviço máxima: 1650°C.

7.1.2. *PONTA DO TERMOPAR*

As pontas do termopares vão ser expostas (figura 35). As vantagens de uma ponta exposta são o aumento do tempo de resposta, a maior sensibilidade a variações de temperatura, quanto às desvantagens a mais evidente é o maior desgaste e neste caso a destruição da ponta do termopar.



Figura 35 – Ponta de termopar exposta [35].

Relativamente à ligação das pontas dos fios recomenda-se uma ligação por torção (figura 36), já que as pontas vão ser destruídas ao fim de cada utilização e também por este tipo de união ser apropriada a este tipo de termopares [35].



Figura 36 – Ligação dos fios do termopar [35].

7.1.3. COLOCAÇÃO NA COQUILHA

A ligação dos termopares à coquilha vai ser efectuada por cima, realizando na coquilha as furações necessárias de modo que o termopar com a protecção encaixe na cavidade e que as pontas dos fios fiquem no meio da cavidade moldante que irá dar formato à peça, permitindo assim fazer as medições da temperatura (figura 37). A inserção dos termopares na coquilha, para que estes fiquem no centro da cavidade, tem de ser colocados aproximadamente a uma distância de 8 mm a partir da protecção do termopar para não induzir grandes erros de medição.

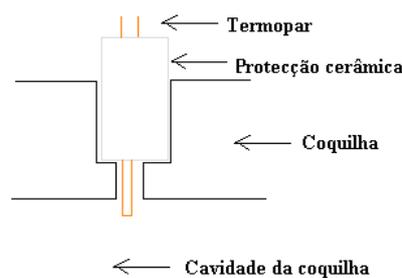


Figura 37 – Colocação dos termopares na coquilha.

Esta solução permite um acesso rápido aos termopares e a sua troca é muito facilitada o que possibilita rapidamente realizar outro vazamento sem que a coquilha arrefeça demasiado, além disso previne a alteração da posição do termopar provocada pela vibração e rotação da coquilha.

Por fim, algum material que entre na cavidade destinada ao termopar é facilmente removido através de um punção (figura 38) construído especificamente para este efeito.



Figura 38 – Punção.

7.1.4. CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES

Os termopares pelo tipo de medições que efectuam e devido à agressividade das condições de medição que estão sujeitos como por exemplo: os choques térmicos, os choques mecânicos e pela contaminação gasosa necessitam de ser periodicamente calibrados.

Neste caso não foi necessário realizar a calibração porque os termopares do tipo E eram novos, no entanto de seis em seis meses estes devem ser calibrados para atestar se os valores indicados pelos termopares estão conforme os valores de referência ou padrão. No anexo D apresentam-se os métodos de calibração de termopares e um procedimento geral para a sua calibração.

7.2. CONDICIONAMENTO DE SINAL

Após analisar os critérios de selecção de todos os sistemas de aquisição estudados optou-se por aproveitar o condicionador de sinal (carta de aquisição de temperaturas para termopares) existente no laboratório de fundição do DEM, diminuindo assim o custo do sistema de aquisição (figura 39). A carta de aquisição de temperaturas tem as seguintes características:

Marca: National Instruments;

Modelo: NI 9211;

Taxa de amostragem: 14 amostras por segundo;

Número de canais: 4;

Resolução de 24 bits;

Rejeição do ruído: 50/80 Hz;

Compatibilidade com termopar do tipo E;

Entradas analógicas.



Figura 39 – Condicionador de sinal NI 9211 [28].

Para visualizar mais características do carta de aquisição de temperatura por termopares consultar o guia de instruções de operação e especificações NI 9211 da National Instruments.

A taxa de amostragem por canal é dada pela taxa de amostragem do condicionador de sinal a dividir pelo número de canais sendo esta de 4,66 amostras por segundo.

7.3. TRANSMISSÃO DO SINAL

Como já se tinha a carta de temperaturas NI 9211 e como a transmissão não se podia realizar por cablagem devido à rotação da coquilha optou-se por uma transmissão Wireless que fosse compatível com a carta de temperaturas. A escolha recaiu sobre o transmissor de sinal NI ENET-9211 (figura 40). Este transmissor de sinal tem as seguintes características:

Marca: National Instruments;

Modelo: NI ENET-9211;

Taxa de transmissão: 100 Mbits/s;

Não necessita de qualquer alteração num

computador com Wireless;

Padrão IEEE 802.11b/g;

Aquisição contínua;

O driver NI-DAQmx suporta ANSI C/C++, LabVIEW, C#, VB.Net e VB.



Figura 40 – Transmissor de sinal NIENET-9211 [28].

Para visualizar mais características do transmissor de sinal consultar o guia de usuário e especificações NI WLS-ENET-9163 da National Instruments.

7.3.1. ALIMENTAÇÃO

O transmissor de sinal funciona com uma alimentação de 9 a 30 V CC com uma potência máxima de 4,5 W, no entanto como o equipamento não pode ser alimentado via fonte exterior ligada à rede eléctrica, pensou-se em colocar uma bateria de 12 V ou duas pilhas de 9 V em série. A bateria apresenta em relação às pilhas as seguintes desvantagens: maior dimensão, acrescida dificuldade de fixação e maior peso, enquanto as pilhas têm um tempo de duração mais curto comparado com o da bateria, contudo atendendo ao efeito pretendido ambas as soluções servem. Optou-se por duas pilhas de 9 V colocadas em série e para aumentar o tempo de duração foi introduzido, no sistema de alimentação construído, um interruptor liga/desliga.

7.3.2. FIXAÇÃO

A fixação do SAQD ao equipamento de vazamento por centrifugação vai ser realizada a uma placa com parafusos, utilizando borrachas para absorver vibrações e anilhas anti-desaperto. A placa vai estar alocada no veio e terá um contrapeso de igual massa ao transmissor mais o condicionador de sinal (figura 41).

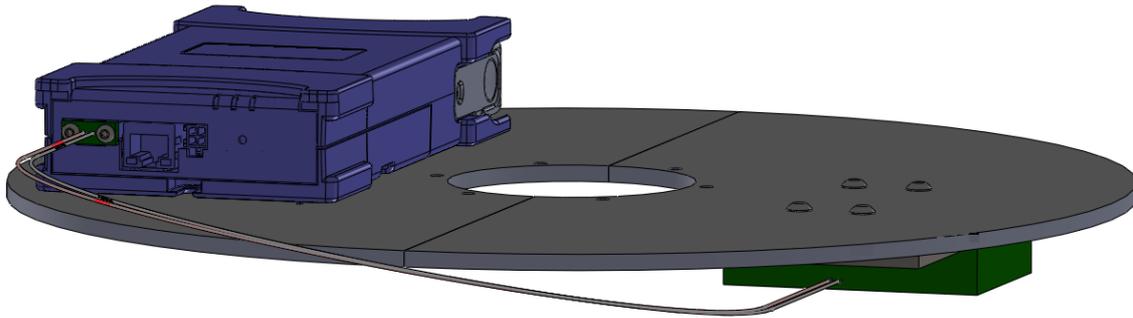


Figura 41 – Visualização da fixação do sistema de aquisição de dados.

O sistema de alimentação está ligado por parafusos ao contrapeso e juntos perfazem sensivelmente o peso do sistema de aquisição de dados.

A solução encontrada permite um fácil acesso a todo o equipamento de aquisição de dados e possibilita a sua aplicação sem grandes alterações na máquina.

7.3.3. CONFIGURAÇÃO DAQMX NI-DAQ PARA WLS/ENET-9163

O dispositivo de transmissão de sinal sem fios WLS/ENET-9163 tem de ser configurado para que seja possível a sua ligação com o PC. Os passos seguintes reflectem essa configuração [28]:

- Instalação do software DAQmx NI-DAQ;
- Ligação do Measurement & Automation Explorer (MAX);
- Colocação de um cabo net entre o dispositivo e o PC;
- Clicar em Find Network;
- Quando o dispositivo aparecer clique em adicionar dispositivo;
- Após adição do dispositivo clicar em cima deste e seleccionar configuração Wireless;
- Aí, colocar uma obtenção de endereço local e estabelecer uma ligação AD-HOC;

- Gravar as definições;
- Tirar o cabo net e clicar em reconnect;
- Clicar em self test;
- O dispositivo está agora configurado para novas ligações basta só carregar em reconnect que a ligação é estabelecida.

7.4. COMPUTADOR (PROCESSADOR)

O computador utilizado como receptor de dados tem um sistema wireless que permite a aquisição dos dados vindos do transmissor de sinal NI ENET-9211 e possui as seguintes características:

Marca: Toshiba;

Modelo: Satellite L300;

Processador: Intel® Pentium® Dual CPU T2410 2.00 GHz;

Memória RAM: 3.00 GB;

Tipo de sistema: Sistema operativo de 32 bits.

7.5. SOFTWARE

Os factores que levaram a escolha do software foram a disponibilidade e a compatibilidade com os componentes escolhidos. A escolha recaiu então no LabVIEW por ser um software disponível no DEM e pela sua compatibilidade com os componentes escolhidos.

O LabVIEW é um software de programação visual o que facilita o trabalho de um programador, este é constituído assim por ícones que representam os controladores e funções disponíveis no menu do software [37].

7.5.1. PROGRAMAÇÃO DO SOFTWARE EM LABVIEW

Depois de um estudo ao pormenor sobre as funcionalidades em LabVIEW foi desenvolvido um software que corresponde às necessidades do projecto em si. O software tem as seguintes características:

- Recebe dados dos 3 termopares colocados na coquilha;
- Transforma o sinal recebido em temperaturas;
- Permite retirar o gradiente de temperaturas ao longo do provete;

Seleção e plano de instalação do sistema de aquisição de dados

- Indica a temperatura da coquilha ao longo da sua cavidade moldante e quando se pode vaziar a primeira liga;
- Indica quando se pode vaziar a segunda liga após definir um determinado ponto;
- Possibilita definir a taxa de aquisição de dados;
- Permite visualizar o número de aquisições;
- Visualizar o tempo de solidificação em cada ponto de medição;
- Autoriza a gravação de dados em Excel.

Na figura 42 visualiza-se o painel frontal do software desenvolvido em LabVIEW.

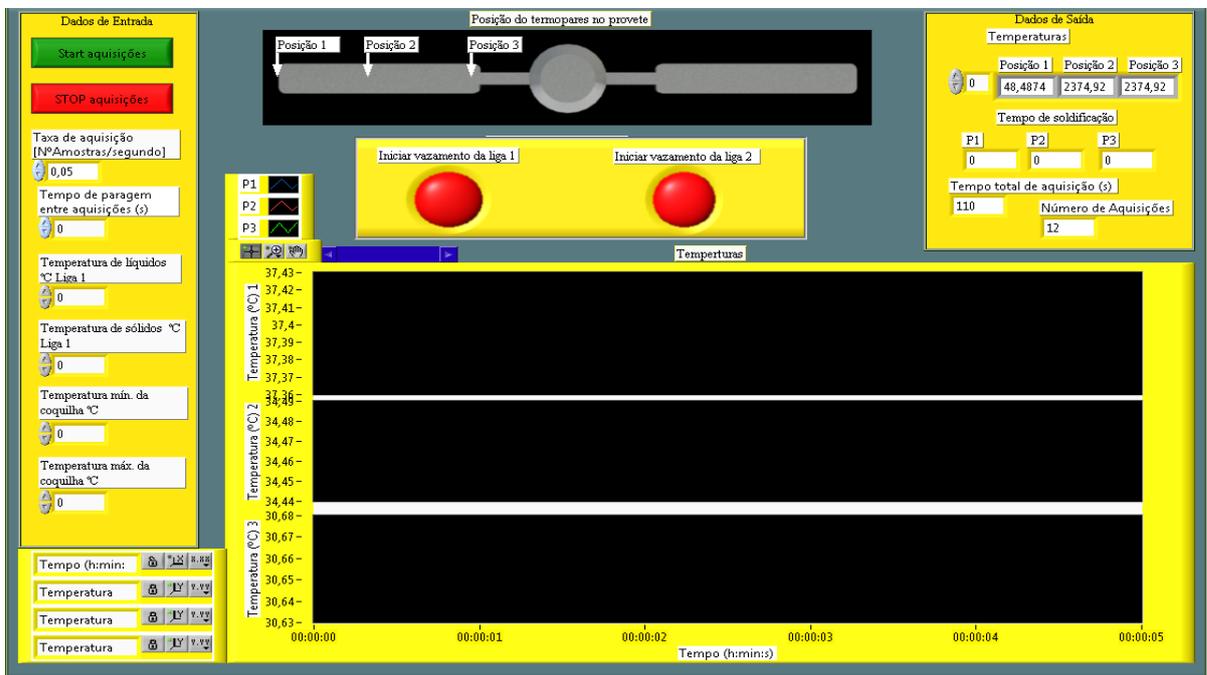


Figura 42 – Painel frontal do programa desenvolvido no LabVIEW.

8. CONSTRUÇÃO E COLOCAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS NO EQUIPAMENTO

Neste capítulo são apresentados e discutidos todos os pormenores da construção e colocação do sistema de aquisição de dados no equipamento.

8.1. ALTERAÇÕES NA COQUILHA

As alterações efectuadas na meia moldação inferior (figura 43) foram a modificação da profundidade da cavidade moldante desta para os 10 mm e a elaboração de dois tacos aparafusados à coquilha para diminuir a quantidade de material vazado (figura 44).

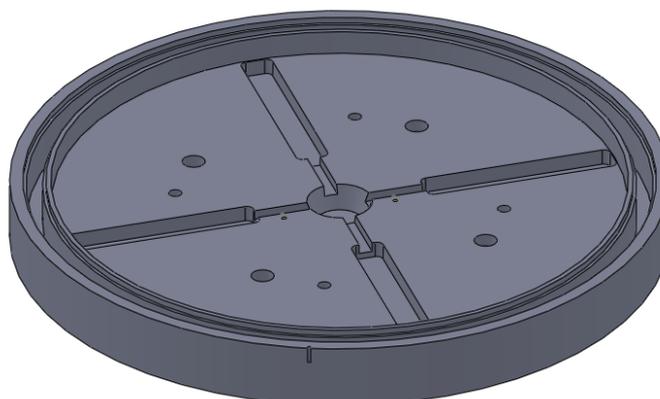


Figura 43 – Moldação inferior.

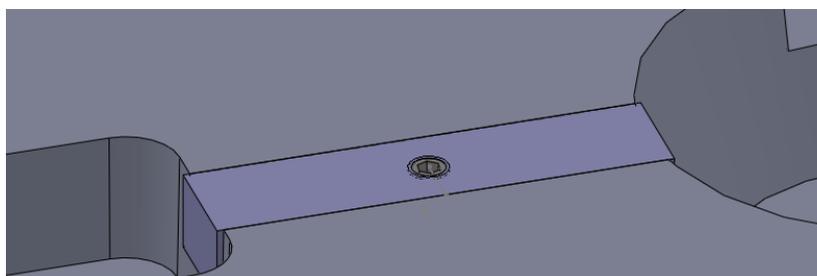


Figura 44 – Tacos aparafusados à coquilha.

Na meia moldação superior foram previstos e efectuados orifícios para acomodação dos termopares (figura 45).

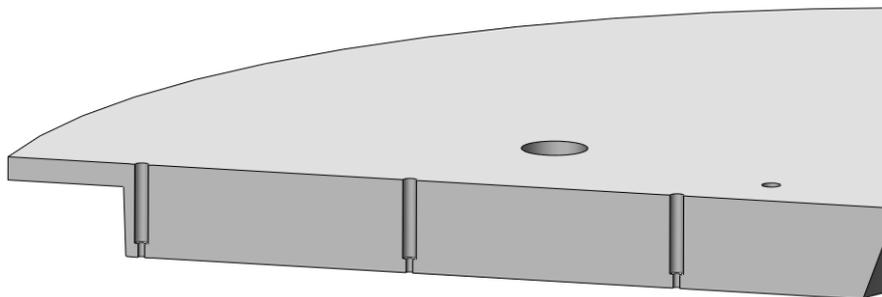


Figura 45 – Moldação superior.

Durante os primeiros testes estáticos de vazamento verificou-se que o material solidificava rapidamente sem chegar a preencher as cavidades moldantes da coquilha, o que impossibilitava a desmoldação, para prevenir esse acontecimento elaborou-se um canal de descida. Esta solução tem a enorme vantagem em relação à anterior, de permitir com facilidade a desmoldação quando ocorre a referida rápida solidificação, já que a bacia de vazamento se encontra dividida em duas partes (figura 46).

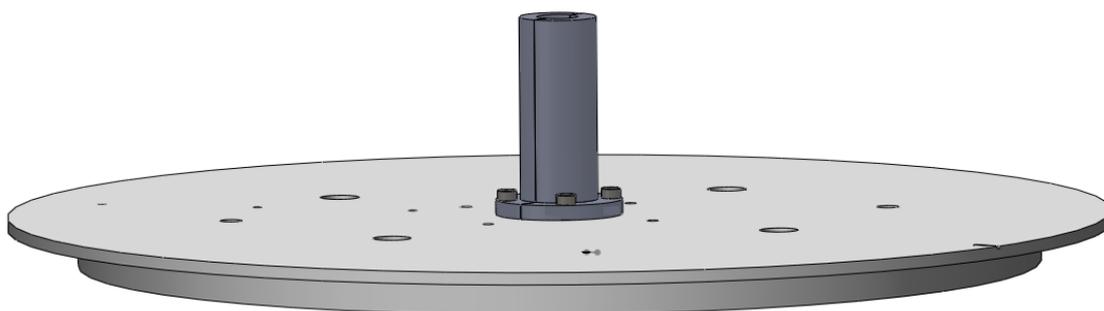


Figura 46 – Canal de descida ligado à moldação superior.

Aquando os primeiros testes percebeu-se que era muito difícil colocar a meia moldação superior sobre a inferior na posição correcta, para resolver esse problema colocou-se uma marca em cada uma das moldações facilitando assim a sua centragem (figura 47).

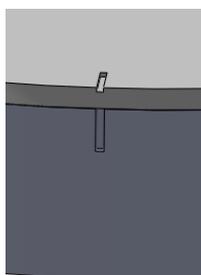


Figura 47 – Centragem das moldação superior com a inferior.

8.2. REVESTIMENTO REFRACTÁRIO

A coquilha foi pintada com uma pasta antiaderente recomendada para revestir e proteger partes metálicas em contacto com alumínio fundido denominada de Plastcote 2000. As características e o modo de emprego estão no anexo D.

8.3. ALTERAÇÕES NO VEIO

A figura 48 ilustra o veio onde foram realizadas quatro furações para colocar duas peças de junção.



Figura 48 – Colocação das peças de junção no veio.

8.4. COLOCAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a colocação do sistema de aquisição de dados foram produzidas duas peças de junção simétricas, nas quais foram aparafusadas as plataformas (figura 48). O sistema de aquisição de dados foi colocado sobre essa plataforma através do aparafusamento, tendo umas anilhas anti-desaperto e umas borrachas para amortecer vibrações.

Durante os primeiros testes no equipamento deparou-se que as pilhas sobreaqueciam e rapidamente se danificavam. Este problema era causado essencialmente pelo facto de estas estarem no interior de uma caixa plástica fechada, para resolver este problema foram feitas aberturas na caixa para permitir o arrefecimento por ar das pilhas e adicionalmente, colocou-se o sistema de alimentação na parte inferior da plataforma onde recebia menos calor por radiação proveniente da coquilha.

Na figura 49 e figura 50 visualiza-se o sistema de aquisição de dados instalado no equipamento em desenho 3D. No anexo F está presente o desenho de conjunto com a identificação de todos os componentes.

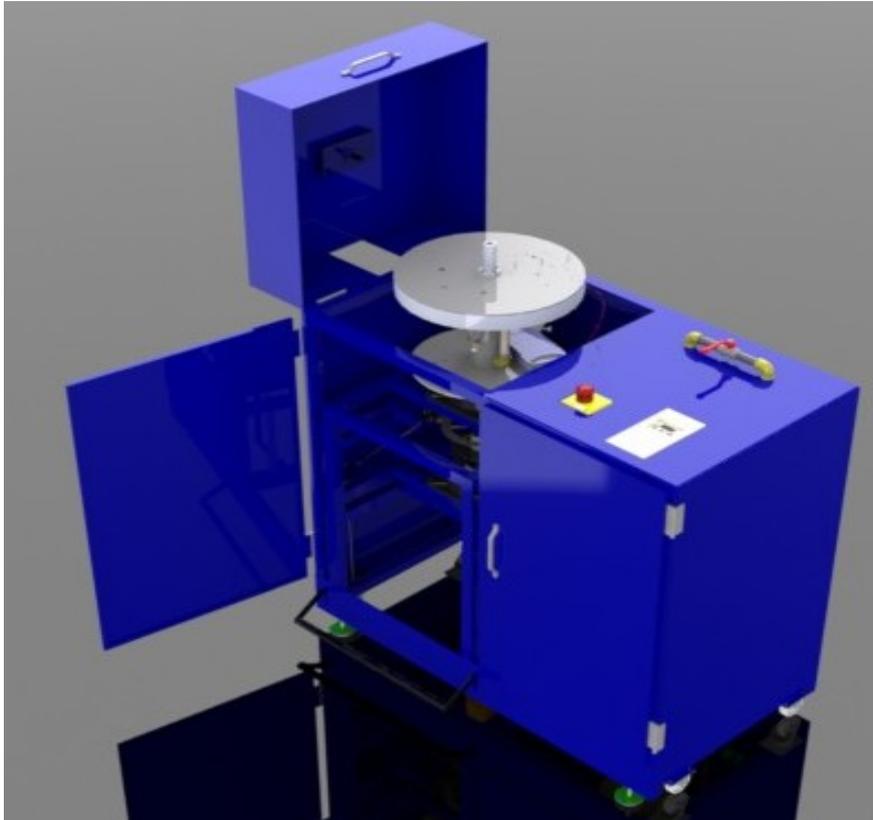


Figura 49 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga com o sistema de aquisição de dados.

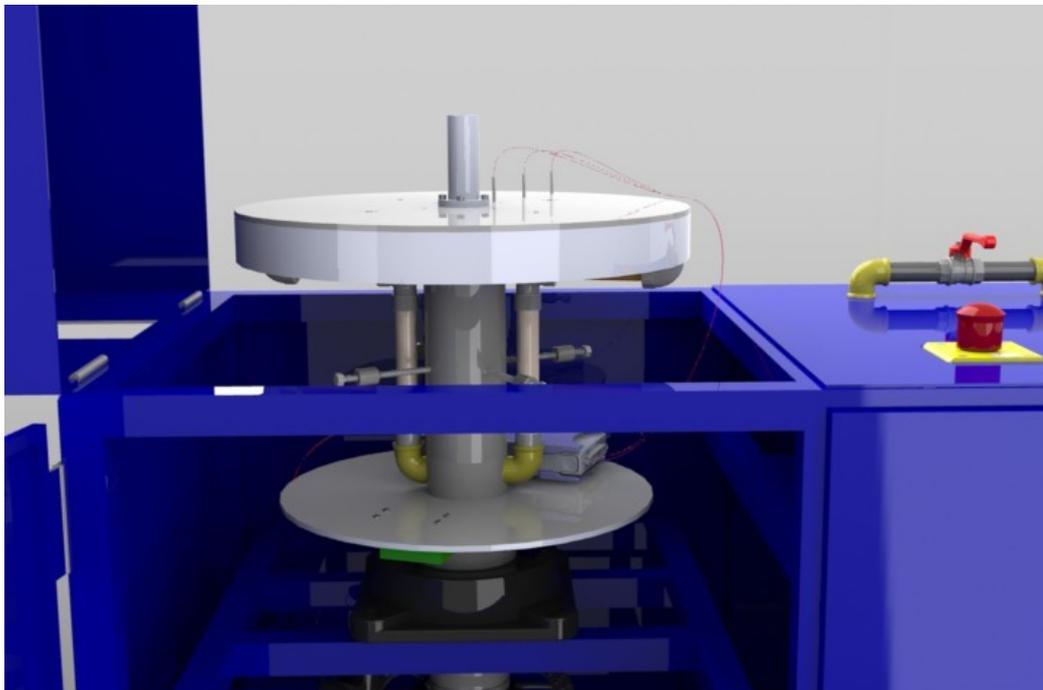


Figura 50 – Equipamento de vazamento por fundição centrífuga com visualização do SAQD em pormenor.

A figura 51 apresenta o sistema de aquisição de dados acoplado ao equipamento.



Figura 51 – Sistema de aquisição de dados instalado na máquina.

9. REALIZAÇÃO DE TESTES

Para a realização de testes foi necessária a elaboração de um procedimento experimental para o vazamento de uma liga de AlSi9Cu3 (ver anexo E). Neste anexo apresentam-se: o objectivo, as características da liga a vazar, os efeitos dos elementos de liga, os principais problemas que podem ocorrer e respectivas soluções bem como, o equipamento necessário, a quantidade de material óptimo a vazar e o procedimento.

Inicialmente optou-se pela realização dos testes na coquilha estando esta estática e em que a aquisição se efectuava através de um CompactDaQ da NI com transmissão de sinal por USB 2.0, já que se estava à espera do transmissor de sinal wireless. Estes testes tiveram como objectivo medir a temperatura no interior da cavidade moldante para obtenção das curvas de arrefecimento, obtendo assim o tempo de solidificação ao longo do provete e a verificação da conformidade de todo o sistema projectado.

No início dos testes foram detectados alguns problemas já mencionados, após a resolução desses problemas realizaram-se três testes estáticos.

O gráfico 10 do ensaio estático número 2, é um extracto retirado dos dados registados onde é possível visualizar uma taxa de aquisição por canal de 3 amostras por cada segundo, bem como verificar que a coquilha inicialmente estava a uma temperatura entre 220 a 240°C e que o tempo de solidificação registado na posição 1 é aproximadamente 1,6 segundos, na posição 2 aproximadamente 11,6 segundos e na posição 3 é na ordem dos 4,3 segundos.

No gráfico 11 visualiza-se que o gradiente de temperaturas entre as três posições, inicialmente é pequeno porém aquando do vazamento este gradiente aumenta substancialmente, acabando por voltar ao normal com o decorrer do tempo.

Os dados obtidos neste ensaio indicam que a solidificação não é direccional porque o material na posição 2 é o último a solidificar.

A figura 52, mostra que o provete obtido apresenta um rechupe axial ao longo de toda a parte superior do provete. Este defeito é normal em peças planas devido a ser a última zona solidificar.

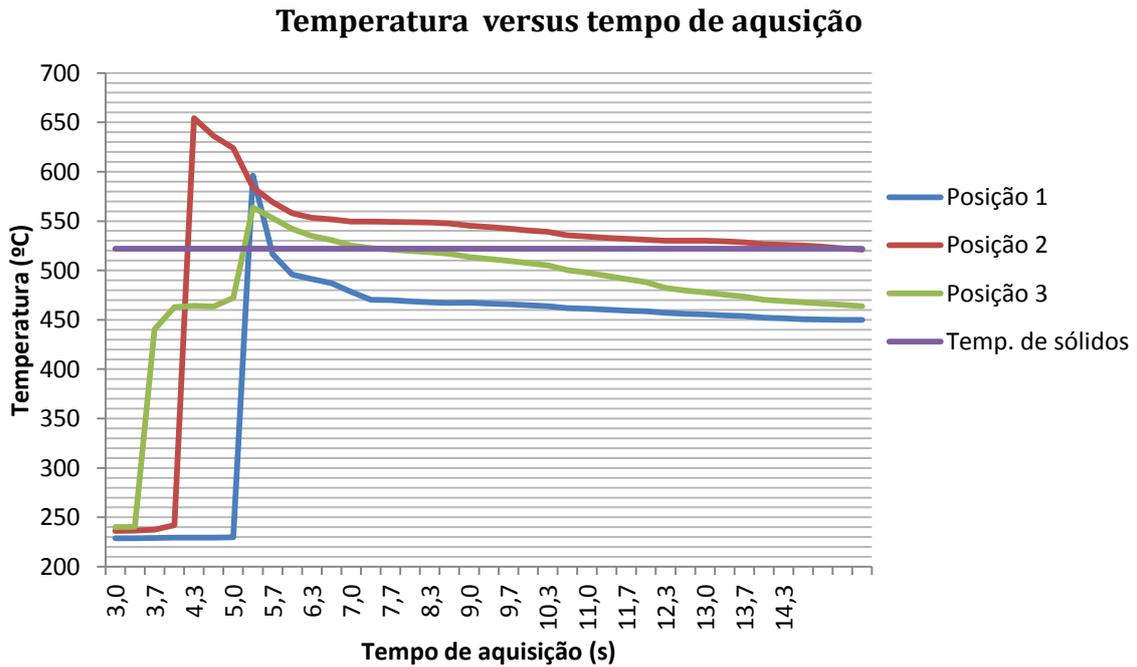


Gráfico 10 – Curvas de arrefecimento para o ensaio estático número 2.

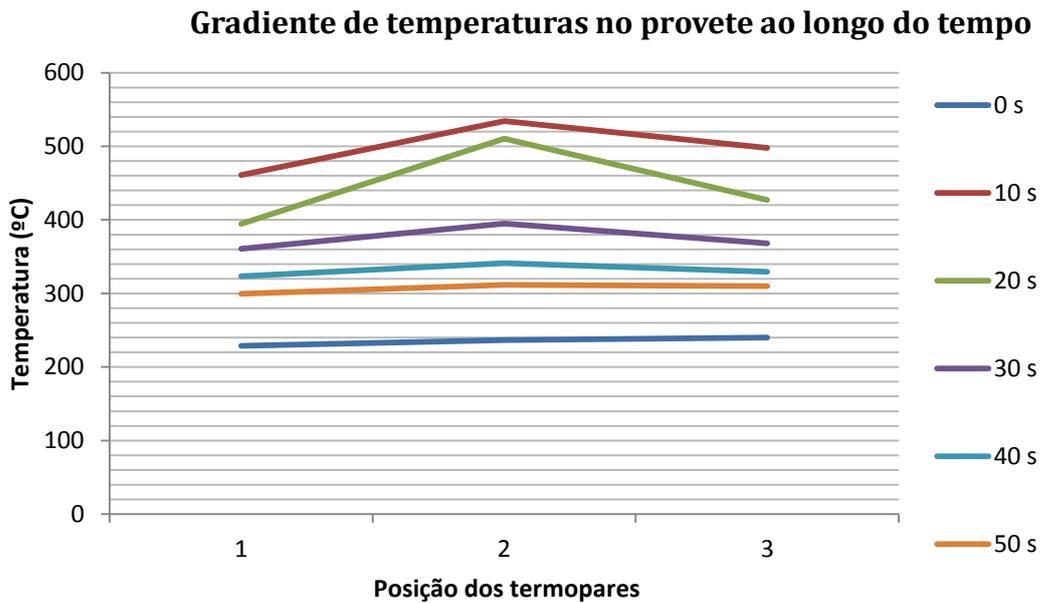


Gráfico 11 – Gradiente de temperaturas ao longo do provete conforme o tempo de aquisição.



Figura 52 – Provete obtido no ensaio número 2 estático.

Utilizando o transmissor de sinal wireless passou-se para a realização de testes na máquina.

O gráfico 12 do ensaio 2 efectuado na máquina é um extracto retirado dos dados registados em se visualiza uma taxa de aquisição inferior à do teste estático, tal factor deve-se à transmissão que no teste estático é por USB e na máquina é por wireless, passando agora a taxa de aquisição para 1 amostra a cada 2,6 segundos.

Os dados revelam que a coquilha inicialmente estava a uma temperatura de 241°C na posição 1, 363°C na posição 2 e 402°C na posição 3 e que o tempo de solidificação registado na posição 1 é aproximadamente 16 segundos, na posição 2 aproximadamente 132,6 segundos e na posição 3 é na ordem dos 106,6 segundos.

No gráfico 13 visualiza-se o gradiente de temperaturas que inicialmente já é acentuado entre as três posições, porém aquando ocorre o vazamento este tende a aumentar acentuadamente acabando por voltar ao normal no decorrer do tempo.

A figura 53, mostra que o provete obtido apresenta um rechupe na sua parte superior e inferior onde se localiza o termopar da posição 3, este defeito reflecte-se por ser uma das últimas zonas solidificar não tendo a alimentação suficiente e devido ao canal de ataque solidificar primeiro que a peça.



Figura 53 – Ensaio número 2 efectuado no equipamento.

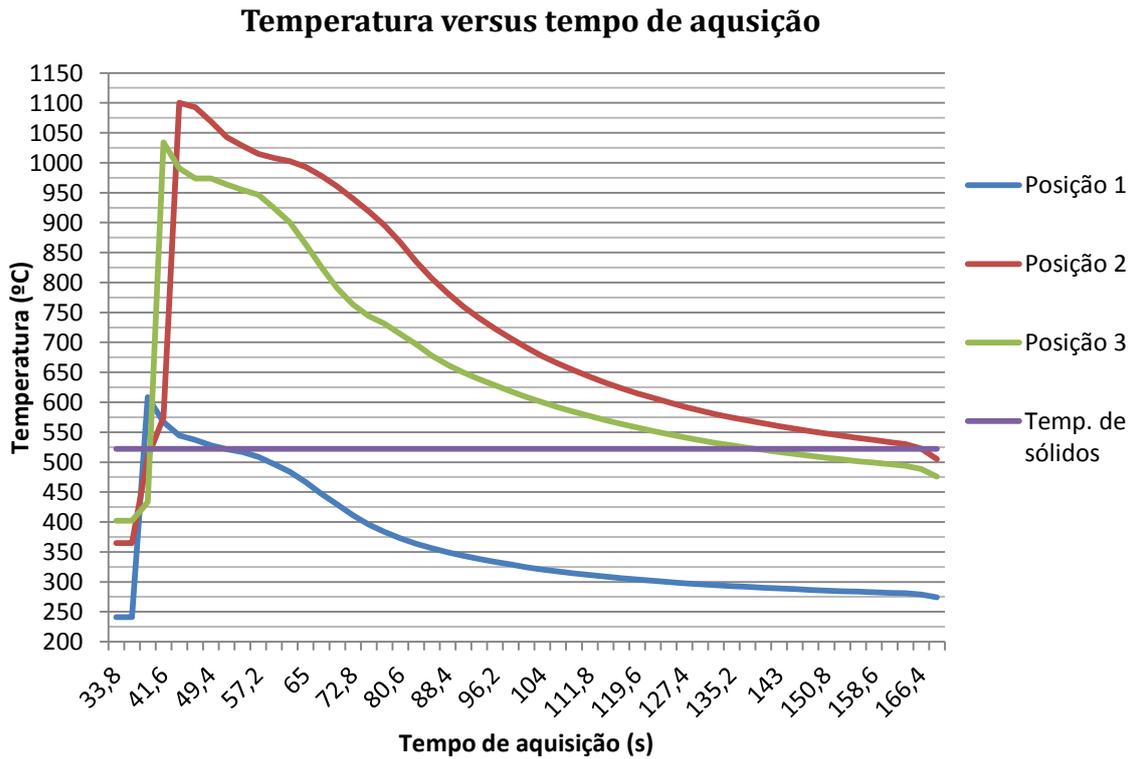


Gráfico 12 – Curvas de arrefecimento para o ensaio número 2 dos testes na máquina.

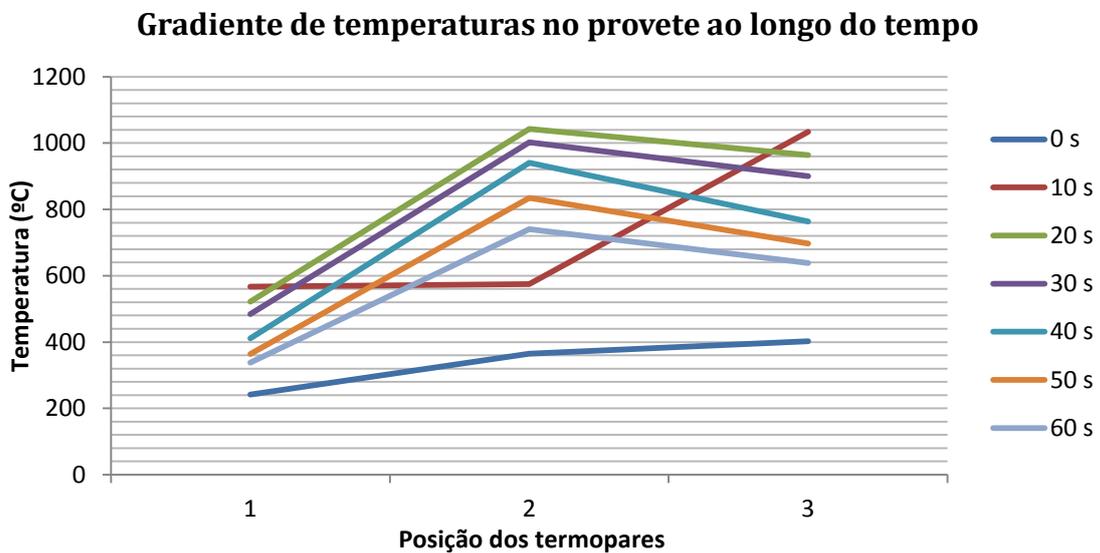


Gráfico 13 – Gradiente de temperaturas ao longo do provete conforme o tempo de aquisição.

Para a visualização de todos os dados obtidos nos testes realizados consulte o anexo E.

Comentários:

O sistema de aquisição de dados sem fios foi projectado e construído no equipamento de vazamento por centrifugação sendo que futuramente é possível monitorizar a temperatura em tempo real e a variação da temperatura do metal no interior da coquilha.

É possível observar que consegue-se monitorizar em tempo real a temperatura em três pontos da coquilha.

A taxa de aquisição de dados baixou devido à transmissão de sinal ser inferior por Wireless em relação à USB. Contudo, este sistema permite futuramente saber quando será apropriado vaziar a segunda liga já que a taxa de aquisição de sinal é apropriada. Na posição 2 com um tempo de solidificação de 132 segundos pode-se realizar vários testes para saber qual o melhor momento para vaziar a segunda liga de alumínio na elaboração de um material com um gradiente funcional de propriedades. Com esta taxa de aquisição e tempo de solidificação permite definir aproximadamente 51 momentos nos quais se pode vaziar a segunda liga após vaziar a primeira.

A rotação do sistema e a vibração não provocou qualquer influência na transmissão do sinal, durante o vazamento. Realizou-se um teste com os termopares à temperatura ambiente e colocou-se a funcionar o equipamento a 800 rpm e verificou-se que o sinal recebido não teve alterações.

O tempo de solidificação aumentou significativamente devido ao aumento da temperatura da coquilha, estes dados confirmam os dados obtidos no Novaflow em que a temperatura da coquilha é o principal parâmetro para o aumento do tempo de solidificação.

Após a introdução do sistema de arrefecimento e do sistema de aquecimento a direccionalidade do arrefecimento pode ser facilmente controlada.

Os termopares registaram temperaturas na ordem dos 1000°C no teste efectuado na máquina, no entanto na mufla a temperatura foi programada para 750°C, este facto pode ter sido devido aos gradientes de temperatura criados na mufla ou do sensor de temperatura não estar calibrado.

10. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

10.1. CONCLUSÃO

A inovação em materiais é cada vez mais uma aposta de futuro. Este trabalho surge no âmbito dessa aposta em novos materiais.

Um dos novos materiais susceptível de grandes inovações são os materiais denominados de materiais com gradiente funcional de propriedades, estes caracterizam-se por ser materiais compósitos com uma microestrutura que pode variar no espaço conforme a sua aplicação. Uma das tecnologias que permitem originar materiais com gradiente funcional de propriedades é a fundição centrífuga, contudo existia um grande entrave à evolução do conhecimento nesta área nomeadamente, a difícil compreensão do fenómeno de temperatura e o modo como este influencia as propriedades do fundido final e na criação de um FGM's.

O trabalho desenvolvido permite futuramente compreender melhor o fluxo de calor durante o arrefecimento do material vazado ao longo da cavidade moldante através da fundição centrífuga, possibilitando estabilizar o factor e aumentar o controlo sobre este.

A implementação do sistema de aquisição de dados na máquina proporciona um avanço no capítulo dos materiais com gradiente de composição química porque com este consegue-se determinar o momento em que se deve vaziar a segunda liga para que se obtenha um fundido com as propriedades pretendidas.

No decorrer deste trabalho foi projectado e construído um sistema de aquisição de dados sem fios que permite monitorizar a temperatura em tempo real no interior da moldação permanente, os testes realizados no equipamento vieram confirmar que o trabalho desenvolvido consegue satisfazer completamente o objectivo pretendido.

Futuramente, quando surgir a necessidade de monitorizar a temperatura em tempo real em outras coquilhas isto será possível realizar, já que o sistema de aquisição de dados desenvolvido é versátil, bastando só realizar os orifícios para introdução dos termopares.

Este sistema de aquisição de dados também permite transmitir dados de temperatura de outros pontos da coquilha ou mesmo da temperatura do líquido de arrefecimento à entrada e

saída da moldação permanente, podendo estudar qual o caudal óptimo para cada aplicação ou coquilha dependendo do material do fundido.

Este estudo apresenta melhorias na coquilha e esclarece-se todos os factores que influenciam o fundido em fundição centrífuga.

Em suma, o trabalho realizado permite progredir na inovação de materiais com gradiente funcional de propriedades.

10.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer dos trabalhos de Magalhães [4] e Silva [5] desenvolveram-se duas das suas sugestões para trabalhos futuros que foram: a monitorização da temperatura da coquilha e a monitorização em tempo real da temperatura no interior da coquilha. Na sequência deste trabalho sugere-se as seguintes tarefas:

- Efectuar variadíssimos ensaios alterando factores como a velocidade de rotação, a temperatura de vazamento, a temperatura da coquilha, o caudal do sistema de arrefecimento, as matérias-primas e a temperatura de sobreaquecimento das ligas, o campo magnético, a alteração do desfasamento no tempo de duas ligas. Com isto, permitiria compreender o modo como estes factores afectam as propriedades dos fundidos obtidos e melhora a aplicabilidade de cada um dos fundidos a uma determinada função específica.
- Construção de um sistema que permita vazar duas ligas em simultâneo ou desfasadas entre si no tempo. Este sistema é importante para se conseguir otimizar o processo e diminuir a influência humana.
- Futuramente propõe-se a elaboração de um actuador que se ligue ao sistema de vazamento e actue no momento programado através do software para vazar a segunda liga.
- Construção do sistema de aquecimento por indução. Este sistema é importantíssimo para aquecer e manter a temperatura da coquilha, bem como para a criação de um arrefecimento direccional.

BIBLIOGRAFIA

1. **El-Hadad, Shimaa, et al.** Effects of the Processing Temperature of Centrifugal Casting on the Mechanical Properties of Al-Al₃Ti FGMs. 2010, Vols. 631-632, p. 373.
2. *Nadjar*. [Online] [Citação: 05 de 11 de 2010.] <http://www.nadjar.com/C300Pilot.html>.
3. *Yasui*. [Online] [Citação: 5 de 11 de 2010.] <http://www.yasui-world.com/casting-machine-wc.asp>.
4. **Magalhães, Filipe.** *Desenvolvimento de uma técnica de produção de válvulas com gradiente de composição, utilizando vazamento por centrifugação de eixo vertical, assistido por indução*. Guimarães: Universidade do Minho, 2010.
5. **Silva, José P.** *Desenvolvimento de uma técnica de produção de pistões com gradiente de composição utilizando vazamento por centrifugação de eixo vertical*. Guimarães: Universidade do Minho, 2009.
6. **Mussoi, Fernando Luiz Rosa.** *Fundamentos de Electromagnetismo*. 3.3. Florianópolis - Brasil : CEFET/SC – Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007. pp. 95 - 98.
7. **Yunlong, GE, et al.** A new Technique - Electromagnetic Centrifugal Casting Process. Shenyang, China : Acta Metallurgica Sinica, 1993. Vol. 6, pp. 349-350.
8. **Seto, Willam W.** *Mechanical Vibrations*. s.l.: MacHraw-Hill, 1964.
9. **Mortensen, A. Suresh.** *Fundamentals of Functionally Graded Materials*. s.l.: IOM Communications Ltd., 1998.
10. *Análise de tensões térmicas em cilindros gradualmente funcionais através de elementos finitos*. **R. L. Daros, C . H. Back.** 22º Iberian Latin-American: Congress on Computational Methods in Engineering, 2001.
11. **P.X. Fu, X.H. Kang, Y.C. Ma, K. Liu, D.Z. Li, Y.Y. Li.** Centrifugal casting of TiAl exhaust valves. [ed.] Chinese Academy of Sciences Institute of Metal Research. China: ScienceDirect, 2008.
12. **A. C. Vieira, L. A. Rocha, J. R. Gomes.** Influência da Incorporação de Partículas de SiC na Microestrutura e no comportamento tribológico de compósitos Al/SiCp com Gradiente Funcional. 2007.

13. **Barbosa, J. Joaquim.** Processos de Fundição. Guimarães: Publicação Interna Universidade do Minho, 2003.
14. **Ferreira, José.** Tecnologia da Fundição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999. pp. 137-180; 317-335;.
15. **Amit, Joshi M.** Centrifugal casting. Bombay, India: Dept. of Metallurgical Engg. & Material Science, Indian Institute of Technology.
16. **Casting, Metals Handbook.** Casting. 9 s.l.: ASM International, 1992. Vol. 15.
17. **Chirita, G., et al.** Centrifugal Versus Gravity Techniques Over Mechanical Properties. *Anales de Mecánica de la Fractura*. Guimarães - Portugal: Mechanical Engineering Department; School of Engineering, Minho University, 2006. Vol. I.
18. **Suzuki K., M. Yao.** Simulation of Mold Filling and Solidification during Centrifugal Precision Casting of Ti-6Al-4V alloy. s.l.: Metals and Materials international, 2004. Vol. 10.1, pp. 33-38.
19. **Yong, XIE e al, LIU Changming et.** Centrifugal casting processes of manufacturing in situ functionally gradient composite materials of Al-19Si-5Mg alloy. China: Rare Metals - College of Materials Science and Engineering, 2009. Vol. 28, pp. 405-412.
20. **Shi Ping Wu, Rong Liu Dong, et al.** Numerical simulation of microstructure evolution of Ti-6Al - 4V alloy in vertical centrifugal casting. China: School of Materials Science and Engineering, 2006.
21. **Madhusudhan, S. Narendranath, G.C.M. Kumar, P.G. Mukunda.** Experimental study on rate of Solidification of Centrifugal Casting. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* . s.l., India: Department of Mechanical Engineering Nitte Meenakshi Institute of Technology, 2010. Vol. 5, pp. 101-105.
22. **Martins, Jorge Manuel.** *Sistemas De Aquisição E Processamento De Sinais*. s.l.: IPS - Instituto Politécnico de Setúbal, 2010. pp. 1.2-1.17.
23. **Santos, Vítor M.** *Instrumentação e Medida - Aquisição de Dados*. s.l.: Universidade de Aveiro, 2003.
24. Portal de Engenharia Química. [Online] [Citação: 15 de 2 de 2011.]
http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=72&Itemid=166.
25. **Serrano, Luís, et al.** *Sistemas de Aquisição, Processamento e Armazenamento de Dados*. Leiria: Dep. de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, 2008.

26. **Dunn, William C.** Fundamentals of industrial instrumentation and process control. s.l.: McGraw-Hill, 2005. pp. 119-138; 201-239.
27. **Curtis, Johnson D.** Controlo de processos: tecnologia de instrumentação. 3 Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. pp. 149-190; 515-526.
28. NI. *National Instruments*. [Online] [Citação: 25 de 06 de 2011.] <http://www.ni.com/dataacquisition/whatis.htm>.
29. **Moreira, Adriano J. C.** *Tecnologias de Transmissão - Alguns aspectos que condicionam o desempenho dos sistemas de transmissão*. 1999.
30. Omega. [Online] [Citação: 21 de 10 de 2010.] www.omega.com.
31. Alibaba. [Online] [Citação: 3 de 11 de 2010.] <http://www.art-control.en.alibaba.com>.
32. **Henriques, João Fustado.** Tecnologia Da Qualidade - curso por correspondência - Metrologia Dimensional. Lisboa: Associação Portuguesa para a Qualidade, 1990. Vol. 7.
33. **Khater, Evaldo.** Diagnóstico de falhas em máquinas rotativas através da análise da vibração torcional. s.l.: FUNREI - São João del Rei/MG, 1992.
34. **Vitorino, António.** Manutenção preditiva - Análise de vibrações. s.l.: Cargill, 2000.
35. Automação Industrial. *Termopares*. [Online] [Citação: 17 de 03 de 2011.] <http://www.automacaoindustrial.com/instrumentacao/temperatura/termopares.php>.
36. **Inyushkin, A.V., Leicht, K. e Esquinazi, P.** *Magnetic field dependence of the sensitivity of a type E (chromel-constantan) thermocouple*. s.l.: Department of Superconductivity and Magnetism, University of Leipzig, 1998. pp. 299-304.
37. *Labview - Programação Gráfica para Instrumentos, Manual do Usuário*. s.l.: NI - National Instruments, 1996.
38. Thermometry in Magnetic Fields. *BIPM - Bureau International des Poids et Mesures*. [Online] [Citação: 24 de 02 de 2011.] <http://www.bipm.org/utils/common/pdf/its90/TECChapter19.pdf>.
39. Instrumentação da Temperatura. [Online] [Citação: 20 de 02 de 2011.] http://intranet.deei.fct.ualg.pt/archive/Inst_2000/.
40. **Silva, Arlindo, Dias, João e Sousa, Luis.** *Desenho Técnico Moderno*. Lisboa: LideL, 2002.
41. **Chirita, G., et al.** Sensitivity of different Al-Si alloys to centrifugal casting effect. Guimarães, Portugal: Science Direct, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – SAQD

<p><u>Integradores</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rampa (Simples, Dupla e Tripla); - Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$); 	<p><u>Não Integradores</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Contador (Up, Up-Down); - Flash ou Paralelo; - Aproximações Sucessivas; - Redistribuição de Carga;
<p><u>Com DAC's</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Contador (Up, Up-Down); - Aproximações Sucessivas; - Redistribuição de Carga; - Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$); 	<p><u>Sem DAC's</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Flash ou Paralelo; - Rampa (Simples, Dupla e Tripla);

Figura 54 – Classificação dos sistemas de conversão [23].

FAMÍLIA	RESOLUÇÃO TÍPICA	VELOCIDADE	APLICAÇÕES
FLASH	BAIXA 1 a 8 bits	Alta Velocidade Muito Rápido	Aplicações Muito Rápidas DSP Vídeo e Controle de Alta Velocidade
APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS	8 a 16 bits	MédioRápido	Aplicações de Aquisição de Dados desde d.c. até IF.
DUPLA RAMPa INTEGRADORES	10 a 20 bits	Lento	Aparelhos de Medida Digitais
SIGMA-DELTA	10 a 24 bits	Lento Compromisso entre resolução e velocidade	Aplicações de baixo custo desde d.c. a áudio. Medidores de Potência

Figura 55 – Diferenças entre ADC's [22].

ANEXO B – ANÁLISE AO PROJECTO

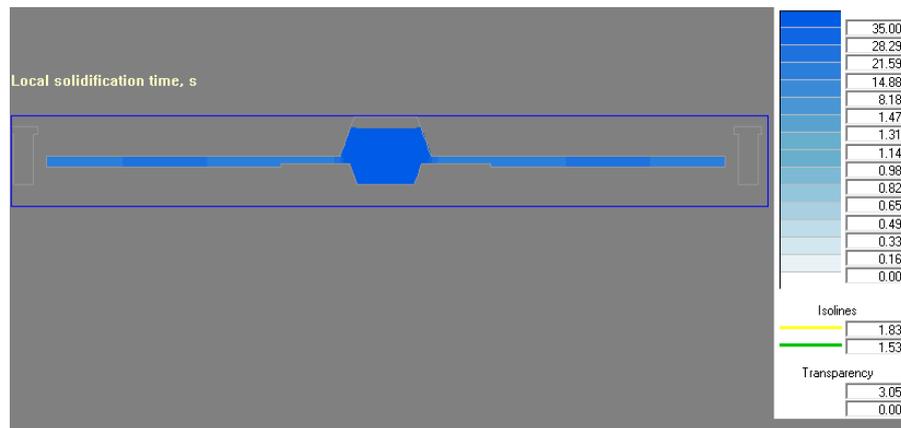


Figura 56 – Tempo de solidificação para o teste P₁₂.

Tabela 10 – Campo magnético - Erros de medição em sensores a baixas temperaturas [38].

Type of Sensor	T(K)	Magnitude of relative temperature error $ \Delta T /T$ (%) for values of B					Notes	References
		1 T	Magnetic Flux Density, B 2.5 T	8 T	14 T	19 T		
Carbon radio resistors Allen-Bradley (2.7, 3.9, 5.6, 10 C)	0.5		2-4	5-13	7-20		a	Sample and Rubin (1977)
	1.0		2-4	6-15	9-25			
	2.5		1-5	6-18	10-30			
	4.2		1-5	5-20	10-35			
Allen-Bradley (47, 100, 220 Ω)	4.2		<1	5	10		a	ibidem
	10		<1	3	5			
	20		<1	1	2			
Speer, Grade 1002 (100, 220, 470 C)	0.5		0-2	0-1	0-6		b	ibidem
	1.0		1-2	2-4	3-9			
	2.5		3-5	1-4	7-14			
	4.2		4-9	2-5	4-13			
Matsushita (68, 200, 510 C)	1.5		1-2	10-15			c	ibidem
	2.1		1	10-15				
	4.2		2-3	4-8				
KVM carbon composite resistors	2.4		3	8 (5T)			d	Astrov et al. (1977)
	4.2		1.5	5 "				
	10		0.4	1.4 "				
	20		0.1	0.4 "				
	80		<0.01	<0.01 "				
Carbon-Glass Resistors	2.2		0.1	1.5	3	4	e	Rubin and Brandt (1986)
	4.2		0.5	2	5	7		
	10		0.2	1.1	3	4		
	20		<0.01	0.02	0.03	0.13		
	45		0.07	0.5	1.3	2		
	88		0.06	0.5	1.3	2		
	190		0.04	0.3	1.0	1.7		
	310		<0.01	0.2	0.6	1.1		
Thermistors	4.2		<0.05	1	3		f	Sample and Rubin (1977)
	10		<0.05	0.3	1			
	20		<0.05	0.1	0.5			
	40		<0.05	0.1	0.5			
	60		<0.05	0.1	0.3			
Germanium Resistors	2.0		8-10	60			g	ibidem
	4.2		5-20	30-55	60-70			
	10		4-15	25-60	60-75			
	20		3-20	15-35	50-80			
	70		3-10	15-30	25-50			
Germanium Resistors TSG-2	4.2		30	120			g	Astrov et al. (1977)
	20		2.5	6				
Specially doped Ge resistors KG	4.2		<0.2	0.5 (6T)			h	ibidem; Matacotta et al. (1984)
	10		<0.2	<0.5 "				
	20		<0.5	2-3 "				
	30		<0.5	5 "				
	80		0.15	0.5 "				
Platinum Resistors	10		100	250			i	Pavese & Cresto (1984); Neuringer et al. (1971); Rubin & Brandt (1986)
	20		2-8 20	25 100	250			
	40		0.5 <1	3 5	6 10	9		
	66		0.1 <0.5	0.8 2	2 5	4		
	87		0.04 <0.5	0.4 1	1 2	2		
	110		0.02	0.2	0.6	1		
	190		<0.01	0.06	0.2	0.3		
	300		<0.01	0.02	0.07	0.13		
			(a) (b)	(a) (b)	(a) (b)	(a) (b)		

Tabela 11 – Campo magnético - Erros de medição em sensores a baixas temperaturas, continuação [38].

Type of Sensor	T(K)	Magnetic Flux Density, B					Notes	References
		1 T	2.5 T	8 T	14 T	19 T		
Rhodium-Iron resistors	2.0		22				j	Pavese & Cresto (1984); Rusby (1972); Rubin & Brandt (1986)
	4.2	2	11	40(6T)				
	20	0.8	4	10(5T)				
	40		1.5	12	30	40		
	66		0.3	2.5	6	9		
	87		0.2	1.5	4	6		
	110		0.1	0.9	2.4			
	190		0.03	0.3	0.9			
300		<0.01	0.1	0.4				
Platinum-Cobalt resistors	2	25	30				k	Shiratori et al. (1982); Pavese & Cresto (1984)
	4.2	8	3	40 (5T)				
	10	1	<0.1	12 "				
	20	0.2	1	3.5 "				
	30	0.2	0.3	1.5 "				
Cryogenic linear resistance sensor	4	20	250				l	McDonald (1973)
	10	17	100					
	20	8	50					
	30	5	30					
KELTIP resistors (Au/Mn)	4.2		4	13	20		m	Rubin & Brandt (1986)
	40		2	30	70	110		
	66		0.4	4	12	20		
	87		0.15	1.5	5	10		
	110		0.03	0.25	1			
	190		0.02	0.2	0.5			
	300		0.02	0.1	0.4			
SrTiO ₃ capacitors	2.2		<0.02	<0.02	0.02		n	ibidem
	4.2		<0.01	<0.01	0.01			
	20		<0.05	<0.05	<0.05			
	50		<0.05	<0.05	<0.05			
	88		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
	110		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
	190		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
Si Diodes	4.2		75				o	Sample & Rubin (1977)
	10		20	30	50			
	20		4	7	10			
	30		3	4	5			
	77		0.2	0.5	0.5			
GaAs Diodes	4.2		2-3	30-50	100-250		p	ibidem
	10		1.5-2	25-40	75-200			
	20		0.5-1	20-30	60-150			
	40		0.2-0.3	4-6	15-30			
	80		0.1-0.2	0.5-1	2-5			
Au + 0.07 % Fe/Chromel P thermocouple	5		2	10	15		q	Sample et al. (1974)
	10		3	20	30			
	20		2	15	20			
	45		1	5	7			
	100		0.1	0.8				
Chromel P/Constantan thermocouple (Type E)	10		1	3	7		r	ibidem
	20		<1	2	4			
	45		<1	<1	2			
Cu + 0.01 % Fe/Cu thermocouple	5		2	3.5 (5T)			q,r	Astrov et al. (1977)
	10		0.8	2 "				
	20		0.6	1.5 "				
	50		0.3	0.6 "				
Vapour pressure thermometers	no intrinsic error except with O ₂						s	
Helium gas thermometer	no intrinsic error						s	Van Degrieff et al. (1980)

ANEXO C – SELECÇÃO E PLANO DE INSTALAÇÃO DO SAQD

Tabela 12 – Características de diversos sensores de temperatura [39].

Tipo	Gama / °C	Linear.	AA Auto-aquecimento	Repetibilidade / °C	Estabilidade °C/ano	Robustez	Preço
Líquido	-100,650	Linear	-	0,2-2°C		Média	€/€€
Gás	-75,820	Linear	-	0,2-1°C		Média	€/€€
P sat	-75,300	Não	-	0,2-1°C		Média	€/€€
Bimetálico	-30,400	Linear	-	0,2-1°C		Grande	€
RTD	-260,2700	$R(T) \nearrow$	S	0,01°C	0,05	Média	€/€€€
NTC	-100,300	$R(T) \searrow$	S	0,01°C	0,05	Baixa	€
Termopar	-270,2700	$E(T) \nearrow$	N	0,5-2%	1-2	Grande	€€
Semi-condutores	-230,150	Linear	S	0,05°C		Baixa	€
Quartzo	-80,250	Linear	N	0,0001-0,05°C	0,01	Média	€€€
Pirómetros	-50,4000	Não	N	0,1-10°C		Grande	€€€

Tabela 13 – Características dos diversos RTD [39].

	Níquel	Cobre	Platina	Tungsténio
Gama de medição / °C	-100 a 500	-100 a 450	-260 a 850	-70 a 2700
Resistividade /Ωm	$5,91 \times 10^{-8}$	$1,53 \times 10^{-8}$	$9,81 \times 10^{-8}$	$4,99 \times 10^{-8}$
Linearidade	Baixa	Alta	Alta	Média
Sensibilidade a 0°C / K ⁻¹	0,0067	0,0042	0,003925	0,0045

Tabela 14 – Tipos e intervalo de indicação dos termopares [39].

Tipos Mais Comuns

Tipo	Gama de Temperaturas
J – Ferro/Constantan (Fe/Cu-Ni)	95 a 760 °C
K – Cromel/Alumel (Ni-Cr/Ni-Al)	-200 a 1260 °C
T – Cobre/Constantan (Cu/Cu-Ni)	-200 a 350 °C
E – Níquel-Crómio/ Constantan (Ni-Cr/Cu-Ni)	-200 a 900 °C
N – Nicrosil/Nisil (Ni-Cr-Si/Ni-Si-Mg)	-270 a 1300 °C
R – Platina-13%Ródio/Platina	0 a 1450 °C
S – Platina-10%Ródio/Platina	0 a 1450 °C
B – Platina-13%Ródio/Platina-6%Ródio	0 a 1700 °C
G – Tungsténio/Tungsténio-26%Rénio	0 a 2360 °C
C – Tungsténio-5%Rénio/Tungsténio-26%Rénio	0 a 2360 °C
D – Tungsténio-3%Rénio/Tungsténio-25%Rénio	0 a 2360 °C

Tabela 15 – Aspectos dos termopares [39].

Aspectos Importantes

B	Facilmente contaminável, necessita de protecção
C	Não apresenta resistência à oxidação. Utiliza-se em vácuo, atmosfera de H ₂ ou gases inertes
E	f.e.m mais elevada em termopares de base metálica. Não se encontra sujeito a corrosão a temperaturas criogénicas
J	Recomendam-se atmosferas redutoras. O Fe pode oxidar-se a temperaturas elevadas. Usa-se um diâmetro maior para compensar
K	Apresenta bom comportamento em atmosferas oxidantes
N	Para uso comum; possui melhor resistência à oxidação e ao enxofre que o tipo K
R	Recomendado para atmosferas oxidantes; facilmente contaminável, necessita protecção
S	Padrão em laboratório, elevada reprodutibilidade; facilmente contaminável, necessita protecção
T	Mais estável para todas as temperaturas criogénicas; excelente para atmosferas redutoras e oxidantes dentro do limite de temperatura

Plano de teste experimental à sensibilidade dos termopares ao campo electromagnético

Autor: Vítor Hugo Ferreira Faria

Data: 20/05/2011 **Hora:** 10:00 h

Local: Laboratório de Materiais;

Objectivo: Visualização da sensibilidade dos termopares à presença de um campo electromagnético para verificar o mais adequado à medição de temperaturas nesta condição.

Equipamentos e materiais necessários:

- Bobine de indução;
- Termopar do tipo K;
- Termopar do tipo E;
- Termopar padrão;
- Sistema de aquisição de dados;
- Material de suporte dos termopares.

Procedimento:

1. Colocar os termopares no sistema de aquisição de dados;
2. Ligar o SAQD;
3. Torcimento dos termopares aproximadamente todos com o mesmo número de torções;
4. Prender os termopares e colocar as pontas dos três termopares no mesmo local;
5. Colocar a espiral da bobine de indução sobre os fios, deixando o termopar padrão com o fio de fora;
6. Ligar a bobine de indução fazendo variar a corrente;
7. Ver o efeito que o campo magnético têm em cada termopar;
8. Gravar os dados obtidos;
9. Desligar a bobine de indução;
10. Colocar as pontas dos termopares no interior da espiral da bobine de indução;
11. Ligar a bobine de indução fazendo variar a corrente;
12. Ver o efeito que o campo magnético têm em cada termopar;
13. Gravar os dados obtidos;
14. Desligar a bobine de indução;

ANEXO D – CONSTRUÇÃO E COLOCAÇÃO DO SAQD NO EQUIPAMENTO

Métodos de calibração e procedimento para termopares do tipo E

Os termopares podem ser calibrados:

- Por comparação com sensores de temperatura primários/secundários ou em banhos que realizam os pontos fixos da EIT-90 – padrões primários. Este tipo de método revela-se rigoroso e de custo elevado.
- Ou através da comparação com sensores de temperatura de referência ou denominados de padrões de referência, existentes em laboratórios e que são muito utilizados na indústria.

Na calibração através da comparação com sensores de temperatura de referência existem várias técnicas de calibração, por exemplo uma utiliza um equipamento denominado de calibrador de medição que compara a temperatura de um padrão de calibração com o termopar que se quer calibrar. Este equipamento é constituído por uma resistência (fonte de calor), um controlador de temperatura, um indicador geral e os blocos de calibradores para colocação dos termopares (figura 57).

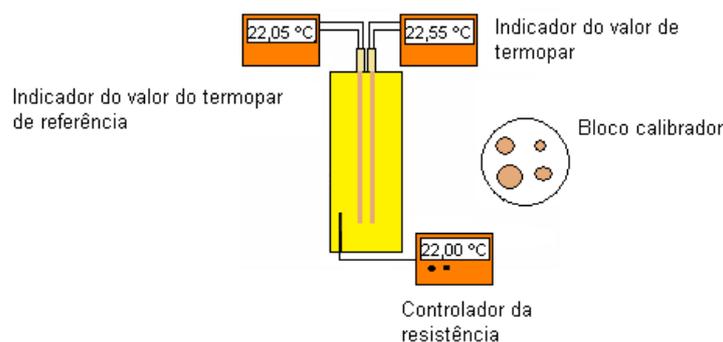


Figura 57 – Equipamento de calibração de termopares.

Outra técnica para calibração de um termopar é por comparação com um gerador de sinal, ao qual se retira a diferença do valor entre o sinal gerado e o sinal recebido pelo termopar (figura 58).

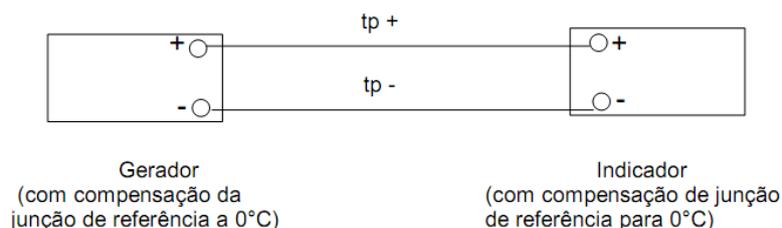


Figura 58 – Equipamento de calibração de sinal por geração de sinal [35].

Por fim a última técnica que se pode utilizar na calibração de um termopar é pela comparação entre a temperatura indicada por um termopar de referência, ambos dentro de um forno que funcionará de fonte quente. Esta técnica está sujeita a maior incerteza já que existem gradientes de temperatura no interior do forno porém é aquela para qual se possui todos os equipamentos necessários para se efectuar no DEM.

Para efectuar a calibração de um instrumento estabeleceu-se um procedimento geral de calibração ao qual se apresenta de seguida:

1. Objectivo da calibração;

O objectivo é a calibração dos termopares do tipo E e pelo levantamento da curva de erro para ajustes ou comprovação da inadequação destes para a medição em questão.

2. Identificação do instrumento de medição a calibrar (IMC);

O instrumento a realizar a medição é um termopar tipo E com as seguintes características:

Proprietário: Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho;

Fabricante: Omega;

Modelo: SA1-(E)-120;

Número de série: 1174902;

Gama de medição: -270 a 1000°C;

Resolução: 0,1°C;

Tipo: Diferença de potencial eléctrico;

Estado de Conservação: Novos;

Número de fábrica: T_{p1} – Termopar da posição 1; T_{p2} - Termopar da posição 2;

T_{p3} - Termopar da posição;

Incerteza padrão: A incerteza padrão admissível segundo a norma ASTM E-230 é de $\pm 1,7^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,5\%$ do valor a ser medido;

3. Selecção do sistema de medição Padrão (SMP);

Segundo a norma ASTM E-230, o instrumento a realizar a medição padrão tem de ser um medidor de temperatura que tenha uma resolução pelo menos 5 vezes superior e que consiga actuar no intervalo de indicação do termopar do tipo E.

4. *Os equipamentos auxiliares*

Os equipamentos auxiliares necessários para a calibração são um forno capaz de atingir temperaturas até 900°C e um sistema de aquisição de dados desenvolvido, no âmbito desta tese.

5. *Preparação experimental;*

O local de ensaio não necessita de ter a temperatura controlada já que o sistema de aquisição de dados realiza a compensação da junção de referência para a temperatura ambiente, necessária aos termopares.

Os pontos de calibração do termopar do tipo E depende do intervalo de indicação do sistema de medição padrão e com base nisso foi estabelecido os seguintes pontos:

Pontos de calibração	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperaturas (°C)	22,0	100,0	156,0	231,0	419,0	535,0	660,0	792,0	870,0

Para efectuar a calibração é necessário proceder de acordo com os seguintes passos:

- A. Introduzir os termopares no interior do forno. Estes devem ser colocados na parte central do forno e o mais perto possível um do outro sem se tocarem;
- B. Ligar a instrumentação envolvida;
- C. Para os pontos de calibração registar os valores do termopar de referência ou padrão e os três termopares do tipo E;
- D. Registar os valores novamente no sentido inverso para registar a histerese;
- E. Repetir o procedimento no mínimo três vezes;
- F. Desligar todo o equipamento.

6. *Execução do ensaio;*

7. *Processamento e documentação de dados;*

Nesta etapa deve-se realizar o cálculo da incerteza.

Algumas das fontes de incerteza para esta calibração são de seguida estabelecidas:

- Incerteza provocada devido aos gradientes térmicos dentro do forno;
- Incerteza do instrumento padrão;
- Incerteza da compensação da junção de referência;

- Desvios-padrão na leitura, provocados pelo instrumento de medição na diferença de potencial.

8. Análise de resultados;

Aquando o cálculo da incerteza realiza-se o gráfico da curva de erro admissível e compara-se com o que está estabelecido para termopares do tipo E concluindo se é necessário realizar alguns ajustes aquando a medição de determinadas temperaturas ou se os termopares estão inadequados para a medição em questão.

Ficha da protecção refractária



FOLHA TÉCNICA

PLASTCOTE 2000

DESCRICÃO

O PLASTCOTE 2000 é uma pasta consistente anti-aderente recomendada para revestir e proteger partes metálicas em contacto com alumínio fundido, tais como: colheres de vazamento, ferramentas de limpeza e tratamento das ligas, canais, etc.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

É uma pasta de cor cinzenta, muito estável, com odor característico.

Controlo: Cod. 312

	Mínimo	Máximo
Densidade	1,07	1,10

MODO DE EMPREGO

O produto é fundido, pronto a usar e deve ser aplicado com um pincel sobre a superfície em contacto com o alumínio fundido.

VANTAGENS

- Muito fácil aplicação
- Excepcional aderência
- Longa duração

EMBALAGEM

Latas com 1 kg de capacidade.

ARMAZENAGEM

Manter nas embalagens de origem afastadas de fontes de calor.

CUIDADOS

Usar luvas de protecção.

Procedimento experimental para o vazamento de uma liga de AlSi9Cu3

Autor: Vítor Hugo Ferreira Faria

Data: 04/06/2011 Hora: 09:00 h Local: Laboratório de fundição;

Objectivo: Medição da temperatura no interior da cavidade moldante para obtenção das curvas de arrefecimento obtendo assim o tempo de solidificação ao longo do provete e a verificação da conformidade de todo equipamento de aquisição de dados para a medição da temperatura.

Material a utilizar no vazamento: 332.0 AlSi9Cu3-T6

Características:

- Indicado para moldações permanentes;
- Composição química em %:

Tipo	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Outros
Nominal	86,50	9,5	...	3.0	...	1.0
Limites	85,05- 90,05	8,5- 10,5	1,2	2- 4	0,5	0,5- 1,5	...	0,5	1	...	0,25	0,50

- Liga hipoeutética;
- Temperatura de líquidos: $\pm 594,55^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura de sólidos: $\pm 522,18^{\circ}\text{C}$;
- Grau de sobreaquecimento: Em peças delgadas $\leq 12 \text{ mm} = 730 \text{ a } 750^{\circ}\text{C}$.

Efeitos dos principais elementos de liga:

Cobre: Melhora a resistência mecânica, a dureza, a resistência à corrosão e diminui a fluidez dos fundidos;

Ferro: Diminui a tendência do fundido se prender às moldações permanentes, e ductibilidade;

Magnésio: Provoca o aumento da dureza e da resistência mecânica;

Silício: Melhora a fluidez, a resistência à fissuração a quente e as características de alimentação.

<i>Defeitos de vazamentos e modificação nas peças em moldações metálicas</i>		
Problema	Acontecimento	Solução
Falta de enchimento	Ar aprisionado.	Maior ventilação.
	Baixa temperatura do moldação.	Maior aquecimento da moldação.
	Baixa temperatura de vazamento.	Maior temperatura da moldação em locais críticos.
Porosidades de contracção	A peça encontra-se com orifícios.	Alteração do processo de vazamento ou redimensionamento do sistema de gitagem.
Escória	Existe na peça a presença de materiais que afectam o desempenho da peça.	Redimensionamento do sistema de gitagem ou introdução de filtros.

Processo: Fundição em coquilha por centrifugação.

Equipamentos e materiais necessários:

- Luvas;
- Roupa apropriada;
- Botas apropriadas;
- PC;
- SAQD;
- 3 Termopares;
- 3 Protecções de termopar;
- Equipamento de vazamento por centrifugação;
- Material refractário;
- 1200 g de liga AlSi9Cu3;
- Mufla;
- Espectrómetro;
- Azoto comprimido e dispositivo de desgasificação;
- Cadinho;
- Lixa de polir e serra;
- Molde de ferro fundido;
- Sais de titânio, boro e sódio;
- Xisato;
- Vareta de zinco;
- Chave de Fendas;
- Tesoura;
- Alicates de pontas;
- Jogo de chaves de Umbrague.

Procedimento:

Fase 1: Preparação da coquilha e todo o equipamento;

1. Colocar a o equipamento num local limpo e acessível perto da mufla onde se pretende fundir a liga;

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de eixo vertical

2. Limpar a coquilha eliminando todas as impurezas (águas, óleos) existentes capazes de afectar a qualidade dos fundidos e segurança dos operadores;
3. Pré-aquecer a coquilha a 150°C;
4. Pintar a coquilha (cavidades do provete, canais de vazamento), a colher de vazamento e o gito da bacia de vazamento com um material refractário com uma espessura de $\pm 0,8$ mm;
5. Colocar as protecções dos termopares nos fios correspondentes e realizar a ligação das pontas por fio traçado (figura 59).



Figura 59 – União das pontas do termopar.

6. Colocar os termopares nos orifícios que dão acesso ao interior da coquilha, as pontas dos termopares devem ficar sensivelmente a meio da cavidade;
7. Fechar a moldação.

Fase 2: Elaboração da liga;

1. Pegar na liga AlSi9Cu3 com uma massa de ± 200 g;
2. Limpá-lo de todas as impurezas existentes;
3. Ligar a mufla estabelecendo uma temperatura de 730°C;
4. Medir a temperatura do banho, o medidor deve estar sensivelmente a meio do banho.
5. Introduzir seguidamente a liga;
6. Quando o material estiver fundido realizar uma análise da composição do banho com um espectrómetro;
7. Se necessário corrigir a composição química do banho através do adição de elementos de liga;
 - a. O zinco e magnésio podem ser adicionados directamente no banho nas suas formas puras.
 - b. Elementos como manganês, níquel, silício, titânio, crómio e cobre devem ser adicionados sob a forma de ligas alumínio com alto teor do elemento necessário.
 - c. O silício e o cobre podem ser adicionados sob a forma pura mas a sua solubilidade é baixa.

- d. O silício e o magnésio tendem a flutuar pelo que devem ser rapidamente submersos no banho para prevenir a sua combustão e formação de escória.
8. Verificação da atmosfera do forno;
 9. Observar a cor e forma da chama, uma chama curta de tom verde azulado significa atmosfera oxidante enquanto uma chama longa de tom amarelado significa uma atmosfera redutora.
O teste da vareta de zinco consiste em levar ao interior da chama que sai pela boca do forno uma vareta de zinco puro bem polida que ao fim de cerca de um minuto retira-se e observa-se a parte que esteve em contacto com a chama. A zona aquecida brilhante constitui uma **atmosfera oxidante** e zona aquecida escurecida constitui uma **atmosfera redutora**. Pretende-se uma atmosfera ligeiramente oxidante;
 10. Produção da liga.
A alumina é insolúvel no metal líquido ficando à superfície do banho protegendo o banho contra novas oxidações e a introdução de hidrogénio no banho;
 11. **Desgasificação do metal líquido.** Esta operação realiza-se fazendo passar pelo interior do banho uma corrente de um gás insolúvel no alumínio que arrasta o hidrogénio para a superfície (figura 60). O gás pode ser o cloro ou azoto;

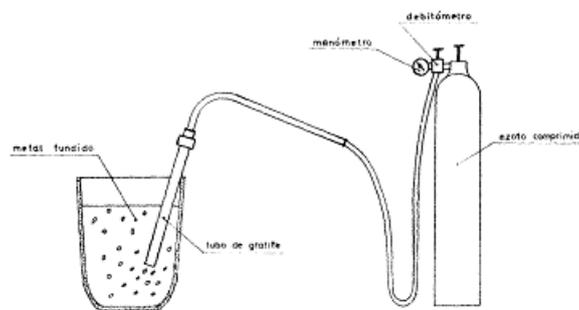


Figura 60 – Equipamento de desgasificação do metal líquido [16].

12. Este dispositivo deve ser manobrado por dois operários e a garrafa deve estar a uma distância de pelo menos de **2 metros** do forno;
13. O tubo de grafite deve ser aquecido a uma temperatura próxima do alumínio;
14. O caudal necessário depende da dimensão do cadinho e este deve estar 5 a 8 minutos a desgaseificar movendo o tubo de grafite para percorrer toda a área do fundo do cadinho;
15. De seguida vaza-se num molde um pouco de material fundido deixando-se solidificar para retirar uma amostra;

16. Amostra arrefece-se em água, serra-se ao meio, lixa-se com uma lixa de polir, lava-se e seca-se observando à vista desarmada a desgasificação do metal (figura 61);



Figura 61 – Visualização da desgasificação do metal [16].

17. Afinação do grão. Adição de pequenas quantidades de sais de titânio e de boro;

18. Modificação da estrutura. Adição de pequenas quantidades de sais de sódio (0,25%) (0,4325 g);

19. **Sobreaquecimento do metal.** O metal deve ser sobreaquecido a 730°C. A medição da temperatura é fundamental ao longo do todo o processo e o medidor de temperatura deve ser introduzido sensivelmente a meio do banho.

Fase 3: Vazamento;

1. Aquecer a coquilha a 400°C;
2. Pegar no cadinho;
3. Ligar o equipamento de vazamento por centrifugação e colocar a coquilha rodar a 800 rpm;
4. Com o programa a correr em LabVIEW verificar se está tudo a funcionar correctamente;
5. Vazar o material;
6. Retirar os dados da temperatura ao longo do arrefecimento do provete;
7. Desligar o equipamento de vazamento por centrifugação.

Fase 4: Desmoldação;

1. Quando a temperatura for suficientemente baixa retirar a parte superior da coquilha;
2. Retirar o provete;
3. Rebarbação e limpeza do fundido.

Fase 5: Preparação da coquilha e todo o equipamento para novo vazamento;

1. Preparação da coquilha novamente;
2. Realizar a ligação das pontas por fio traçado;
3. Colocação destes na coquilha;
4. Voltar à fase 3.

Fase 6: Recolha dos dados e análise crítica ao procedimento e processo e aos provetes obtidos.

Cálculo do volume de material a vazar em cada teste

Durante os testes iniciais de vazamento surgiram alguns problemas. Um dos problemas ocorridos prende-se com a dificuldade de adequar a quantidade de metal líquido a vazar. Este problema era grave já que depois não se conseguia remover facilmente a bacia de vazamento porque o metal enchia completamente a bacia tendo que depois ser removida, o que implicava um maior dispêndio de tempo para preparação da coquilha para o vazamento seguinte. A solução escolhida passou por adicionar a quantidade exacta de material necessário ao enchimento das cavidades da coquilha, de modo que não chegasse a encher a bacia de vazamento.

O desenho técnico do provete está no anexo F.

Os cálculos dos volumes da peça são de seguida apresentados na equação 11 e 12:

$$V_{\text{peças}} = 2 \times (V_1 + V_2 + V_3) \quad (11)$$

Em que:

- $V_{\text{peça}}$ é o volume das duas peças (mm^3);
- V_1 é o volume dos quatro cantos da peça (mm^3);
- V_2 é o volume do rectângulo entre as arestas redondas (mm^3);
- V_3 é o volume do rectângulo central da peça (mm^3).

$$V_{\text{peças}} = 2 \times \left[\left(\frac{\pi \times 4^2}{4} + 2 \times 4 \times 12 + 112 \times 20 \right) \times 10 \right] \approx 46971 \text{ mm}^3 \quad (12)$$

Cálculo dos volumes dos canais de ataque, equação 13 e 14:

$$V_{\text{at}} = 2 \times (A_s \times C_p) \quad (13)$$

Em que:

- V_{at} : Volume de ambos os canais de ataque das duas peças (mm^3);
- A_s : área de secção do canal de ataque (mm^2);
- C_p : comprimento do canal de ataque (mm).

$$V_{\text{at}} = 2 \times (6 \times 8 \times 33) = 3168 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

Cálculo do volume de um poço tronco cónico, equação 15, 16 e 17:

$$V_{tc} = \frac{\pi}{12} \times h \times (D^2 + D \times d + d^2) \quad (15)$$

Em que:

- V_{tc} : Volume do poço tronco cónico (s: superior; i: inferior) (mm^3);
- D: Diâmetro do topo do poço (mm);
- d: Diâmetro de base (mm);
- h: Altura do poço (mm).

$$V_{ptci} = \frac{\pi}{12} \times 15 \times (40^2 + 40 \times 29 + 29^2) \approx 14134 \text{ mm}^3 \quad (16)$$

$$V_{ptcs} = \frac{\pi}{12} \times 20 \times (32^2 + 32 \times 46,56 + 46,56^2) \approx 24501 \text{ mm}^3 \quad (17)$$

A soma destes volumes vai dar o volume da cavidade das coquilha (V_{cc}) equação 18:

$$V_{cc} = (V_{t\text{ peças}} + V_{at} + V_{pti} + V_{pts}) = 88774 \text{ mm}^3 \quad (18)$$

O volume da cavidade da coquilha é o valor máximo de material que se pode vaziar mesmo no limite para não perturbar a remoção do sistema de enchimento (figura 62).

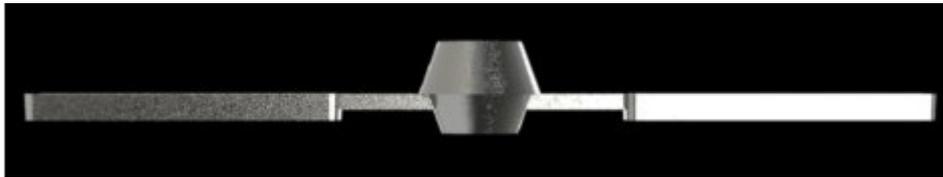


Figura 62 – Dimensões do provete para um volume vazado de 88774 mm^3 .

Porém este valor máximo por motivos de precaução vai ser diminuído de forma a garantir que o sistema de enchimento nunca seja perturbado. Assim, calcula-se os volumes a vaziar através da diminuição do volume do poço tronco cónico superior.

O valor do material do poço tronco cónico superior passa a ser, equação 19:

$$V_{ptcs} = \frac{\pi}{12} \times 12 \times (37,82^2 + 37,82 \times 46,56 + 46,56^2) \approx 16820 \text{ mm}^3 \quad (19)$$

$$V_{pm\acute{a}x} = 81093 \text{ mm}^3$$

Em que:

- $V_{pm\acute{a}x}$: volume máximo possível de ser vazado (mm^3).

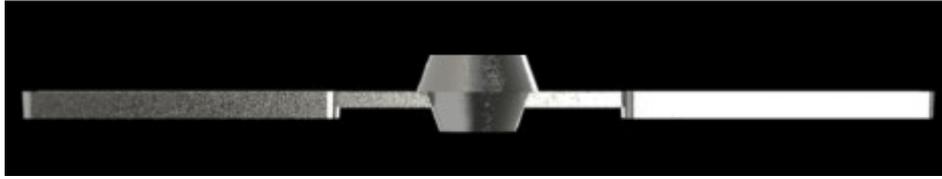


Figura 63 – Dimensões do provete para um volume vazado de 81093 mm³.

O valor óptimo para a quantidade de material a vaziar é, equação 20:

$$V_{ptcs} = \frac{\pi}{12} \times 6 \times (42,19^2 + 42,19 \times 46,56 + 46,56^2) \approx 9282 \text{ mm}^3 \quad (20)$$

$$V_{p\acute{o}pt} = 73555 \text{ mm}^3$$

Em que:

- $V_{p\acute{o}pt}$: volume óptimo para ocorrer o vazamento (mm³).

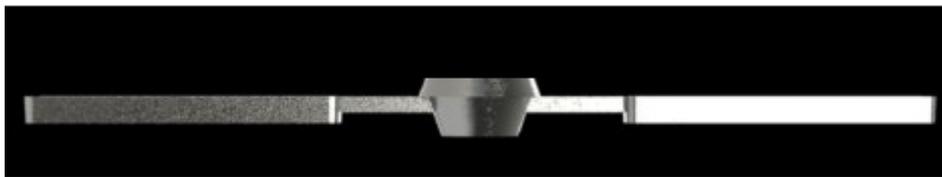


Figura 64 – Dimensões do provete para um volume vazado de 73555 mm³.

O valor mínimo do volume para garantir que as peças sejam completamente preenchidas pelo material vazado é:

$$V_{ptcs} = 0 \text{ mm}^3$$

$$V_{pmin} = 64273 \text{ mm}^3$$

Em que:

- V_{pmin} : volume mínimo para ocorrer o vazamento com o preenchimento integral das peças (mm³).



Figura 65 – Dimensões do provete para um volume vazado de 64273 mm³.

A massa de liga de alumínio necessária para cada vazamento para um $V_{p\acute{o}pt}$ é dada na equação 21:

$$m_{total} = V_{p\acute{o}pt} \times \rho_{\text{alumínio}} \quad (21)$$

$$m_{total} = 73555 \times 2,7 = 198599 \text{ mg}$$

Para a realização de testes com criação de um material FGM's é necessário calcular a quantidade de material de cada liga para que depois se possa vaziar só o necessário de cada. A massa total a vaziar nos testes dinâmicos com gradiente de composição é igual há dos testes estáticos com uma só liga. Contudo agora esta massa terá de ser dividida em duas partes não simétricas, isto acontece porque a massa da segunda liga não é só metade da peça como na primeira mas tem ainda de preencher a cavidades dos ataques e o poço tronco cônico.

Primeira liga:

O volume a vaziar da primeira liga será metade do volume total dos provetes a vaziar, equação 22.

$$V_{1l} = \left(\frac{V_{\text{peças}}}{2} \right) = 23485,5 \text{ mm}^3 \quad (22)$$

Segunda liga:

O volume de metade dos provetes mais os canais de enchimento e o poço tronco cônico, equação 23.

$$V_{2l} = V_{\text{ópt}} - V_{1l} = 50069,5 \text{ mm}^3 \quad (23)$$

ANEXO E – REALIZAÇÃO DE TESTES

Dados Obtidos nos termopares em cada Teste

Tabela 16 – Dados obtidos nos testes estáticos em coquilha.

Teste estático											
Tempo de aquisição (s)	1			Tempo de aquisição (s)	2			Tempo de aquisição (s)	3		
	Temperatura (°C)				Temperatura (°C)				Temperatura (°C)		
	Posição				Posição				Posição		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0,00	43,76	43,98	45,03	0,00	228,91	236,45	240,09	0,00	263,34	254,00	284,94
0,07	43,76	43,98	45,03	0,33	228,88	236,43	240,10	0,33	263,35	254,02	284,94
0,13	43,76	44,00	45,07	0,67	228,86	236,42	240,08	0,67	263,36	254,04	285,21
0,20	43,76	44,00	45,07	1,00	228,84	236,40	240,05	1,00	264,06	255,16	288,26
0,27	43,76	44,00	45,07	1,33	228,84	236,38	240,04	1,33	263,90	254,99	658,14
0,33	43,76	44,00	45,07	1,67	228,82	236,38	240,03	1,67	264,01	254,80	641,59
0,40	43,92	44,03	46,52	2,00	228,80	236,37	240,02	2,00	263,98	254,75	637,11
0,47	43,92	44,03	46,52	2,33	228,79	236,60	240,39	2,33	263,96	255,91	633,26
0,53	43,92	44,03	46,52	2,67	229,05	237,41	440,13	2,67	263,83	303,71	603,96
0,60	43,92	44,03	46,52	3,00	229,30	242,14	462,86	3,00	263,78	391,92	603,52
0,67	43,92	44,03	46,52	3,33	229,40	654,39	464,08	3,33	263,71	456,95	605,13
0,73	43,41	44,13	455,85	3,67	229,48	636,19	463,43	3,67	263,69	482,30	606,34
0,80	43,41	44,13	455,85	4,00	229,83	623,89	472,30	4,00	263,71	490,11	606,51
0,87	43,41	44,13	455,85	4,33	595,96	583,98	563,88	4,33	263,72	496,19	589,94
0,93	43,41	44,13	455,85	4,67	516,44	569,36	552,93	4,67	263,71	509,28	558,56
1,00	43,80	44,42	502,28	5,00	495,99	558,02	542,08	5,00	263,65	482,97	544,27
1,07	43,80	44,42	502,28	5,33	491,34	553,32	535,06	5,33	263,61	478,80	543,56
1,13	43,80	44,42	502,28	5,67	487,25	551,76	530,88	5,67	263,58	474,43	545,41
1,20	43,80	44,42	502,28	6,00	478,52	549,67	525,20	6,00	263,58	472,50	575,38
1,27	43,74	44,78	503,84	6,33	470,46	549,61	522,75	6,33	263,57	468,88	565,88
1,33	43,74	44,78	503,84	6,67	469,86	549,27	521,12	6,67	263,58	467,32	560,15
1,40	43,74	44,78	503,84	7,00	468,55	548,96	519,81	7,00	263,58	465,90	555,20
1,47	43,74	44,78	503,84	7,33	467,84	548,40	518,48	7,33	263,59	464,48	551,91
1,53	43,73	45,24	530,55	7,67	467,06	547,57	516,82	7,67	263,60	463,06	549,46
1,60	43,73	45,24	530,55	8,00	467,27	545,42	513,65	8,00	263,61	460,19	546,65
1,67	43,73	45,24	530,55	8,33	466,43	544,04	511,70	8,33	263,62	458,70	544,49
1,73	43,73	45,24	530,55	8,67	465,66	542,31	509,67	8,67	263,63	457,25	536,66
1,80	43,86	45,70	525,01	9,00	464,81	540,54	507,55	9,00	263,64	455,88	530,71
1,87	43,86	45,70	525,01	9,33	463,87	539,05	505,32	9,33	263,66	454,67	521,14
1,93	43,86	45,70	525,01	9,67	462,01	535,72	500,50	9,67	263,67	452,55	533,16
2,00	43,86	45,70	525,01	10,00	461,10	534,25	497,74	10,00	263,67	451,83	529,75
2,07	43,86	45,70	525,01	10,33	460,23	532,99	494,60	10,33	263,68	451,36	513,53

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

2,13	43,92	46,17	519,82	10,67	459,47	532,01	491,27	10,67	263,69	451,09	505,75
2,20	43,92	46,17	519,82	11,00	458,69	531,16	488,07	11,00	263,70	451,00	501,41
2,27	43,92	46,17	519,82	11,33	457,08	530,21	482,19	11,33	263,71	451,13	493,04
2,33	43,92	46,17	519,82	11,67	456,22	530,12	479,80	11,67	263,70	451,59	477,77
2,40	43,94	46,60	514,11	12,00	455,38	530,02	477,60	12,00	263,72	451,77	491,49
2,47	43,94	46,60	514,11	12,33	454,55	529,54	475,55	12,33	263,72	451,85	494,15
2,53	43,94	46,60	514,11	12,67	453,82	528,50	473,61	12,67	263,73	451,80	482,69
2,60	43,94	46,60	514,11	13,00	452,29	526,42	470,23	13,00	263,73	451,69	474,65
2,67	43,93	46,95	508,53	13,33	451,48	525,83	468,87	13,33	263,76	451,14	469,80
2,73	43,93	46,95	508,53	13,67	450,68	525,29	467,73	13,67	263,76	450,79	468,26
2,80	43,93	46,95	508,53	14,00	450,23	524,13	466,53	14,00	263,78	450,38	466,03
2,87	43,93	46,95	508,53	14,33	449,98	522,51	465,21	14,33	263,78	449,88	462,49
2,93	43,91	47,21	503,33	14,67	449,89	520,97	463,91	14,67	263,80	449,00	459,25
3,00	43,91	47,21	503,33	15,00	450,40	518,33	461,23	15,00	263,81	446,55	455,02
3,07	43,91	47,21	503,33	15,33	450,90	517,28	459,82	15,33	263,82	445,26	461,22
3,13	43,91	47,21	503,33	15,67	453,84	516,43	458,35	15,67	263,83	444,10	456,67
3,20	43,92	47,43	498,63	16,00	457,02	515,96	456,77	16,00	263,85	443,06	454,21
3,27	43,92	47,43	498,63	16,33	463,33	515,38	455,10	16,33	263,85	441,81	462,25
3,33	43,92	47,43	498,63	16,67	461,27	513,84	451,44	16,67	263,87	439,94	470,31
3,40	43,92	47,43	498,63	17,00	457,17	513,23	449,51	17,00	263,89	439,26	472,43
3,47	43,92	47,43	498,63	17,33	453,51	512,58	447,52	17,33	263,90	438,47	465,74
3,53	43,92	47,63	492,83	17,67	450,36	511,84	445,48	17,67	263,90	437,55	455,68
3,60	43,92	47,63	492,83	18,00	447,50	511,39	443,44	18,00	263,92	436,48	449,85
3,67	43,92	47,63	492,83	18,33	392,73	510,05	439,33	18,33	263,92	435,51	451,73
3,73	43,92	47,63	492,83	18,67	390,40	509,95	437,24	18,67	263,96	433,27	448,45
3,80	43,92	47,79	486,71	19,00	388,66	510,00	435,17	19,00	263,96	432,03	451,78
3,87	43,92	47,79	486,71	19,33	388,19	510,22	433,10	19,33	263,98	430,83	459,17
3,93	43,92	47,79	486,71	19,67	387,38	510,59	431,03	19,67	264,01	429,64	469,95
4,00	43,92	47,79	486,71	20,00	394,45	510,50	426,91	20,00	264,02	428,44	466,85
4,07	43,90	47,94	478,40	20,33	394,64	509,55	424,88	20,33	264,05	425,97	466,03
4,13	43,90	47,94	478,40	20,67	392,74	508,25	422,84	20,67	264,06	424,71	469,25
4,20	43,90	47,94	478,40	21,00	393,49	506,69	420,82	21,00	264,08	423,46	466,15
4,27	43,90	47,94	478,40	21,33	393,83	504,95	418,82	21,33	264,08	422,20	465,65
4,33	43,90	48,07	464,49	21,67	395,24	502,79	416,85	21,67	264,11	420,94	461,91
4,40	43,90	48,07	464,49	22,00	397,78	496,98	412,98	22,00	264,14	418,48	456,33
4,47	43,90	48,07	464,49	22,33	396,56	493,59	411,11	22,33	264,14	417,31	457,70
4,53	43,90	48,07	464,49	22,67	395,98	489,88	409,25	22,67	264,15	416,15	455,66
4,60	43,91	48,19	451,77	23,00	394,77	485,92	407,41	23,00	264,17	415,02	452,44
4,67	43,91	48,19	451,77	23,33	393,42	481,99	405,60	23,33	264,18	413,87	450,22
4,73	43,91	48,19	451,77	23,67	389,44	472,30	402,06	23,67	264,20	411,67	432,93
4,80	43,91	48,19	451,77	24,00	386,33	467,53	400,33	24,00	264,21	410,62	418,99
4,87	43,91	48,19	451,77	24,33	383,82	463,41	398,64	24,33	264,21	409,58	418,16
4,93	43,91	48,32	445,81	24,67	382,21	459,17	396,95	24,67	264,22	408,67	417,88
5,00	43,91	48,32	445,81	25,00	380,80	455,04	395,30	25,00	264,21	407,76	420,07

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

5,07	43,91	48,32	445,81	25,33	378,61	446,74	392,02	25,33	264,24	406,85	431,52
5,13	43,91	48,32	445,81	25,67	377,78	442,70	390,39	25,67	264,27	405,08	436,67
5,20	43,83	48,45	443,09	26,00	376,61	438,76	388,79	26,00	264,27	404,20	435,02
5,27	43,83	48,45	443,09	26,33	375,33	434,96	387,20	26,33	264,29	403,36	431,94
5,33	43,83	48,45	443,09	26,67	373,84	430,98	385,61	26,67	264,31	402,59	432,45
5,40	43,83	48,45	443,09	27,00	371,11	423,52	382,51	27,00	264,32	401,84	431,15
5,47	43,70	48,61	464,61	27,33	369,89	420,06	380,99	27,33	264,35	400,34	428,69
5,53	43,70	48,61	464,61	27,67	368,78	416,64	379,49	27,67	264,35	399,61	427,51
5,60	43,70	48,61	464,61	28,00	367,60	413,36	378,04	28,00	264,37	398,89	426,37
5,67	43,70	48,61	464,61	28,33	366,76	410,30	376,61	28,33	264,39	398,21	425,26
5,73	43,04	48,79	463,64	28,67	365,65	407,43	375,17	28,67	264,40	397,62	424,18
5,80	43,04	48,79	463,64	29,00	363,55	402,17	372,35	29,00	264,43	409,60	422,13
5,87	43,04	48,79	463,64	29,33	362,54	399,71	370,92	29,33	264,45	409,66	421,15
5,93	43,04	48,79	463,64	29,67	361,56	397,31	369,48	29,67	264,46	408,88	420,21
6,00	43,01	48,98	458,19	30,00	360,49	394,99	368,01	30,00	264,46	408,01	419,32
6,07	43,01	48,98	458,19	30,33	359,42	392,75	366,58	30,33	264,49	407,14	418,44
6,13	43,01	48,98	458,19	30,67	357,28	388,51	363,73	30,67	264,52	405,41	416,75
6,20	43,01	48,98	458,19	31,00	355,31	386,47	362,34	31,00	264,54	404,58	415,93
6,27	43,01	48,98	458,19	31,33	353,72	384,48	360,97	31,33	264,56	403,79	415,11
6,33	43,18	49,20	453,01	31,67	352,34	382,58	359,63	31,67	264,56	403,01	414,34
6,40	43,18	49,20	453,01	32,00	351,19	380,76	358,32	32,00	264,58	402,23	413,57
6,47	43,18	49,20	453,01	32,33	348,67	377,28	355,75	32,33	264,58	401,45	412,81
6,53	43,18	49,20	453,01	32,67	347,31	375,58	354,50	32,67	264,62	408,19	411,30
6,60	43,25	49,45	447,82	33,00	346,16	373,87	353,29	33,00	264,63	409,45	410,54
6,67	43,25	49,45	447,82	33,33	345,10	372,23	352,10	33,33	264,65	410,38	409,80
6,73	43,25	49,45	447,82	33,67	344,05	370,66	350,93	33,67	264,67	410,56	409,04
6,80	43,25	49,45	447,82	34,00	342,23	367,55	348,66	34,00	264,68	411,10	408,28
6,87	42,58	49,69	451,02	34,33	341,32	366,06	347,58	34,33	264,72	415,71	406,76
6,93	42,58	49,69	451,02	34,67	340,42	364,61	346,51	34,67	264,72	415,95	406,02
7,00	42,58	49,69	451,02	35,00	339,42	363,17	345,46	35,00	264,72	415,04	405,26
7,07	42,58	49,69	451,02	35,33	338,43	361,74	344,43	35,33	264,74	414,11	404,51
7,13	42,16	49,91	454,14	35,67	337,50	360,32	343,42	35,67	264,75	413,19	403,77
7,20	42,16	49,91	454,14	36,00	335,61	357,60	341,47	36,00	264,78	411,31	402,28
7,27	42,16	49,91	454,14	36,33	334,61	356,26	340,52	36,33	264,80	410,36	401,54
7,33	42,16	49,91	454,14	36,67	333,66	354,94	339,60	36,67	264,81	409,40	400,80
7,40	41,71	50,13	440,43	37,00	332,71	353,66	338,67	37,00	264,84	408,39	400,06
7,47	41,71	50,13	440,43	37,33	331,77	352,40	337,78	37,33	264,85	407,39	399,37
7,53	41,71	50,13	440,43	37,67	330,00	349,97	335,92	37,67	264,91	405,41	397,97
7,60	41,71	50,13	440,43	38,00	329,13	348,79	335,08	38,00	264,92	404,40	397,28
7,67	41,71	50,13	440,43	38,33	328,25	347,62	334,26	38,33	264,94	403,39	396,57
7,73	40,84	50,33	427,76	38,67	327,39	346,47	333,45	38,67	264,95	402,39	395,88
7,80	40,84	50,33	427,76	39,00	326,54	345,32	332,67	39,00	264,97	401,36	395,20
7,87	40,84	50,33	427,76	39,33	324,80	343,10	331,14	39,33	264,97	400,34	394,55
7,93	40,84	50,33	427,76	39,67	324,00	342,01	330,39	39,67	265,02	398,32	393,24

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

8,00	40,46	50,52	420,86	40,00	323,17	340,97	329,64	40,00	265,04	397,29	392,58
8,07	40,46	50,52	420,86	40,33	322,30	339,89	328,92	40,33	265,05	396,29	391,97
8,13	40,46	50,52	420,86	40,67	321,50	338,85	328,21	40,67	265,07	395,28	391,36
8,20	40,46	50,52	420,86	41,00	319,95	336,83	326,83	41,00	265,08	394,29	390,73
8,27	40,07	50,69	408,15	41,33	319,21	335,83	326,16	41,33	265,11	392,33	389,53
8,33	40,07	50,69	408,15	41,67	318,49	334,87	325,51	41,67	265,14	391,36	388,93
8,40	40,07	50,69	408,15	42,00	317,77	333,92	324,86	42,00	265,15	390,36	388,37
8,47	40,07	50,69	408,15	42,33	317,04	332,97	324,22	42,33	265,16	389,37	387,80
8,53	40,28	50,87	400,47	42,67	316,32	332,05	323,60	42,67	265,17	388,41	387,23
8,60	40,28	50,87	400,47	43,00	314,88	330,25	322,39	43,00	265,20	386,51	386,11
8,67	40,28	50,87	400,47	43,33	314,17	329,38	321,78	43,33	265,22	385,58	385,55
8,73	40,28	50,87	400,47	43,67	313,49	328,51	321,18	43,67	265,23	384,65	385,00
8,80	40,57	51,02	396,60	44,00	312,86	327,66	320,61	44,00	265,23	383,75	384,43
8,87	40,57	51,02	396,60	44,33	312,19	326,83	320,05	44,33	265,25	382,85	383,92
8,93	40,57	51,02	396,60	44,67	310,83	325,20	318,94	44,67	265,31	381,07	382,88
9,00	40,57	51,02	396,60	45,00	310,17	324,39	318,40	45,00	265,30	380,21	382,37
9,07	40,57	51,02	396,60	45,33	309,49	323,61	317,88	45,33	265,33	379,35	381,89
9,13	40,57	51,17	390,86	45,67	308,87	322,82	317,36	45,67	265,35	378,50	381,38
9,20	40,57	51,17	390,86	46,00	308,21	322,06	316,85	46,00	265,37	377,63	380,87
9,27	40,57	51,17	390,86	46,33	306,94	320,54	315,84	46,33	265,40	376,79	380,38
9,33	40,57	51,17	390,86	46,67	306,31	319,82	315,36	46,67	265,43	375,14	379,41
9,40	40,84	51,30	388,64	47,00	305,72	319,10	314,87	47,00	265,45	374,33	378,91
9,47	40,84	51,30	388,64	47,33	305,11	318,40	314,40	47,33	265,46	373,52	378,45
9,53	40,84	51,30	388,64	47,67	304,53	317,70	313,93	47,67	265,47	372,73	378,01
9,60	40,84	51,30	388,64	48,00	303,39	316,33	313,00	48,00	265,49	371,95	377,51
9,67	41,21	51,42	382,75	48,33	302,82	315,65	312,55	48,33	265,55	370,43	376,56
9,73	41,21	51,42	382,75	48,67	302,28	315,02	312,12	48,67	265,56	369,70	376,08
9,80	41,21	51,42	382,75	49,00	301,74	314,35	311,68	49,00	265,58	368,96	375,63
9,87	41,21	51,42	382,75	49,33	301,22	313,70	311,25	49,33	265,59	368,22	375,18
9,93	41,61	51,53	380,11	49,67	300,69	313,06	310,83	49,67	265,63	367,51	374,73
10,00	41,61	51,53	380,11	50,00	299,66	311,82	310,00	50,00	265,66	366,09	373,88
10,07	41,61	51,53	380,11	50,33	299,15	311,21	309,61	50,33	265,68	365,41	373,44
10,13	41,61	51,53	380,11	50,67	298,65	310,60	309,20	50,67	265,69	364,73	373,03
10,20	41,82	51,62	375,73	51,00	298,15	310,01	308,82	51,00	265,69	364,05	372,60
10,27	41,82	51,62	375,73	51,33	297,65	309,43	308,44	51,33	265,71	363,42	372,19
10,33	41,82	51,62	375,73	51,67	296,67	308,30	307,69	51,67	265,75	362,11	371,38
10,40	41,82	51,62	375,73	52,00	297,39	307,75	307,32	52,00	265,78	361,46	370,97
10,47	41,82	51,62	375,73	52,33	295,82	307,20	306,96	52,33	265,80	360,83	370,57
10,53	41,90	51,71	372,76	52,67	295,35	306,66	306,61	52,67	265,81	360,20	370,17
10,60	41,90	51,71	372,76	53,00	294,89	306,13	306,24	53,00	265,82	359,58	369,77
10,67	41,90	51,71	372,76	53,33	293,98	305,10	305,58	53,33	265,84	358,97	369,39
10,73	41,90	51,71	372,76	53,67	293,51	304,59	305,24	53,67	265,87	357,79	368,65
10,80	41,94	51,77	370,82	54,00	293,04	304,08	304,92	54,00	265,90	357,21	368,27
10,87	41,94	51,77	370,82	54,33	292,60	303,59	304,57	54,33	265,93	356,61	367,88

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

10,93	41,94	51,77	370,82	54,67	292,16	303,09	304,24	54,67	265,94	356,05	367,52
11,00	41,94	51,77	370,82	55,00	291,28	302,13	303,62	55,00	265,96	355,48	367,17
11,07	41,96	51,81	368,91	55,33	290,83	301,65	303,32	55,33	265,98	354,37	366,44
11,13	41,96	51,81	368,91	55,67	290,43	301,18	303,01	55,67	266,00	353,80	366,11
11,20	41,96	51,81	368,91	56,00	289,98	300,72	302,70	56,00	266,03	353,27	365,74
11,27	41,96	51,81	368,91	56,33	289,59	300,25	302,41	56,33	266,04	352,73	365,36
11,33	42,07	51,84	368,24	56,67	289,17	299,80	302,12	56,67	266,05	352,21	365,03
11,40	42,07	51,84	368,24	57,00	288,32	298,93	301,53	57,00	266,10	351,19	364,33
11,47	42,07	51,84	368,24	57,33	287,91	298,48	301,25	57,33	266,11	350,70	364,00
11,53	42,07	51,84	368,24	57,67	287,52	298,07	300,96	57,67	266,13	350,20	363,71
11,60	42,27	51,86	379,77	58,00	287,17	297,65	300,69	58,00	266,15	349,71	363,39
11,67	42,27	51,86	379,77	58,33	286,78	297,24	300,41	58,33	266,16	349,24	363,07
11,73	42,27	51,86	379,77	58,67	286,04	296,39	299,84	58,67	266,20	348,33	362,42
11,80	42,27	51,86	379,77	59,00	285,68	295,98	299,58	59,00	266,20	347,84	362,10
11,87	42,27	51,86	379,77	59,33	285,30	295,57	299,31	59,33	266,21	347,38	361,78
11,93	42,07	51,86	374,08	59,67	284,94	295,20	299,05	59,67	266,24	346,90	361,45
12,00	42,07	51,86	374,08	60,00	284,59	294,81	298,79	60,00	266,24	346,45	361,12
12,07	42,07	51,86	374,08	60,33	283,91	294,03	298,28	60,33	266,27	346,00	360,80
12,13	42,07	51,86	374,08	60,67	283,60	293,67	298,04	60,67	266,27	345,11	360,16
12,20	43,45	51,88	361,85	61,00	283,27	293,29	297,79	61,00	266,29	344,70	359,88
12,27	43,45	51,88	361,85	61,33	282,94	292,93	297,54	61,33	266,31	344,30	359,58
12,33	43,45	51,88	361,85	61,67	282,61	292,55	297,30	61,67	266,34	343,89	359,29
12,40	43,45	51,88	361,85	62,00	281,93	291,85	296,84	62,00	266,35	343,48	359,00
12,47	43,36	51,91	328,71	62,33	281,58	291,51	296,61	62,33	266,39	342,66	358,41
12,53	43,36	51,91	328,71	62,67	281,26	291,16	296,39	62,67	266,40	342,25	358,12
12,60	43,36	51,91	328,71	63,00	280,93	290,82	296,16	63,00	266,42	341,83	357,85
12,67	43,36	51,91	328,71	63,33	280,59	290,48	295,94	63,33	266,44	341,43	357,55
12,73	43,44	51,91	329,55	63,67	280,21	290,15	295,72	63,67	266,45	341,04	357,27
12,80	43,44	51,91	329,55	64,00	279,67	289,49	295,29	64,00	266,48	340,27	356,74
12,87	43,44	51,91	329,55	64,33	279,36	289,17	295,08	64,33	266,48	339,88	356,45
12,93	43,44	51,91	329,55	64,67	279,09	288,85	294,86	64,67	266,51	339,53	356,18
13,00	43,38	51,92	327,13	65,00	278,76	288,55	294,67	65,00	266,52	339,15	355,91
13,07	43,38	51,92	327,13	65,33	278,42	288,23	294,47	65,33	266,54	338,77	355,63
13,13	43,38	51,92	327,13	65,67	277,83	287,63	294,08	65,67	266,57	338,06	355,11
13,20	43,38	51,92	327,13	66,00	277,54	287,32	293,87	66,00	266,58	337,73	354,86
13,27	43,38	51,92	327,13	66,33	277,27	287,01	293,67	66,33	266,60	337,39	354,60
13,33	43,88	51,90	317,68	66,67	277,01	286,73	293,47	66,67	266,61	337,05	354,37
13,40	43,88	51,90	317,68	67,00	276,75	286,44	293,27	67,00	266,63	336,70	354,13
13,47	43,88	51,90	317,68	67,33	276,15	285,90	292,90	67,33	266,64	336,38	353,91
13,53	43,88	51,90	317,68	67,67	275,89	285,60	292,73	67,67	266,67	335,72	353,43
13,60	43,86	51,93	320,73	68,00	275,65	285,34	292,55	68,00	266,68	335,40	353,18
13,67	43,86	51,93	320,73	68,33	275,46	285,06	292,37	68,33	266,69	335,09	352,98
13,73	43,86	51,93	320,73	68,67	275,26	284,79	292,18	68,67	266,71	334,78	352,75
13,80	43,86	51,93	320,73	69,00	274,80	284,27	291,82	69,00	266,73	334,46	352,52

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

Tabela 17 – Dados obtidos nos testes na máquina.

Teste na máquina											
1				2				3			
Tempo de aquisição (s)	Temperatura (°C)			Tempo de aquisição (s)	Temperatura (°C)			Tempo de aquisição (s)	Temperatura (°C)		
	Posição				Posição				Posição		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0,00	158,60	248,05	250,18	0,00	242,39	365,44	404,12	0,00	223,33	352,65	352,98
2,60	158,60	247,99	250,18	2,60	242,29	365,42	404,02	2,60	223,27	352,51	352,87
5,20	158,49	247,81	249,97	5,20	242,20	365,39	403,92	5,20	223,22	352,44	352,78
7,80	158,43	247,70	249,93	7,80	242,12	365,40	403,79	7,80	223,22	352,43	352,77
10,40	158,36	247,60	249,83	10,40	242,03	365,40	403,67	10,40	223,15	352,34	352,73
13,00	158,27	247,51	249,79	13,00	241,95	365,31	403,52	13,00	223,11	352,27	352,65
15,60	158,21	247,36	265,87	15,60	241,88	365,26	403,38	15,60	223,07	352,20	352,59
18,20	527,06	285,00	325,01	18,20	241,80	365,20	403,26	18,20	223,05	352,14	352,52
20,80	494,81	799,68	336,64	20,80	241,72	365,12	403,12	20,80	223,00	352,08	352,49
23,40	481,05	776,56	796,73	23,40	241,65	365,06	402,97	23,40	222,97	352,03	352,47
26,00	458,82	775,35	744,38	26,00	241,57	364,97	402,82	26,00	222,93	351,95	352,36
28,60	445,16	769,89	722,38	28,60	241,48	364,90	402,64	28,60	222,91	351,90	352,32
31,20	433,47	757,73	714,94	31,20	241,40	364,78	402,48	31,20	222,85	351,80	352,24
33,80	424,40	738,74	675,55	33,80	241,32	364,72	402,34	33,80	222,83	351,73	352,15
36,40	383,41	657,72	579,37	36,40	241,23	364,65	402,09	36,40	222,80	351,68	352,09
39,00	329,58	578,30	478,19	39,00	608,37	507,80	433,06	39,00	222,76	351,62	352,01
41,60	319,35	562,59	464,87	41,60	566,97	575,09	1034,16	41,60	222,72	351,53	351,90
44,20	307,30	546,39	455,01	44,20	544,76	1100,38	991,01	44,20	222,65	351,46	351,54
46,80	300,47	531,44	445,65	46,80	537,19	1092,84	973,79	46,80	222,62	351,35	351,46
49,40	290,92	517,31	436,08	49,40	528,08	1068,62	973,70	49,40	222,60	351,32	351,42
52,00	284,37	504,53	427,81	52,00	521,88	1042,44	963,70	52,00	222,56	351,26	351,33
54,60	277,39	492,78	421,55	54,60	516,60	1028,31	954,36	54,60	222,54	351,18	351,37
57,20	271,33	482,09	415,17	57,20	508,70	1014,68	946,62	57,20	222,50	351,09	351,19
59,80	265,33	471,23	406,28	59,80	496,73	1007,70	923,99	59,80	222,47	351,05	351,27
62,40	259,66	461,33	398,73	62,40	483,80	1002,56	900,09	62,40	222,42	351,02	351,34
65,00	254,91	452,52	392,44	65,00	466,89	993,18	864,19	65,00	222,36	350,94	351,32
67,60	250,32	443,97	386,53	67,60	446,94	977,94	825,75	67,60	222,34	350,88	351,28
70,20	246,30	436,34	381,30	70,20	429,32	960,57	790,39	70,20	222,28	350,82	351,23
72,80	242,62	429,44	376,70	72,80	411,08	940,38	763,44	72,80	222,27	350,76	351,18
75,40	239,22	423,11	372,58	75,40	395,53	918,70	744,02	75,40	222,25	350,71	351,15
78,00	236,14	417,16	369,08	78,00	383,53	895,36	730,97	78,00	222,19	350,60	351,03
80,60	233,26	411,48	366,14	80,60	373,04	867,33	714,10	80,60	222,16	350,56	351,03
83,20	230,56	406,15	363,31	83,20	364,00	835,10	696,83	83,20	222,11	350,48	350,95
85,80	228,04	401,14	360,49	85,80	356,33	807,15	677,81	85,80	222,09	350,41	350,87
88,40	225,62	396,35	357,62	88,40	349,45	781,86	662,57	88,40	222,07	350,39	350,83
91,00	223,24	391,64	354,84	91,00	343,36	759,68	649,79	91,00	222,01	350,29	350,75
93,60	221,06	387,22	352,15	93,60	338,08	740,30	638,62	93,60	221,96	350,23	350,68

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

96,20	219,08	383,15	349,74	96,20	333,24	722,60	628,18	96,20	221,92	350,15	350,62
98,80	217,19	379,27	347,40	98,80	328,88	706,75	618,40	98,80	221,87	350,09	350,58
101,40	215,49	375,72	345,26	101,40	324,57	691,00	608,56	101,40	221,82	350,00	350,50
104,00	213,76	372,07	343,00	104,00	320,85	676,85	599,82	104,00	221,81	349,98	350,46
106,60	212,21	368,73	341,01	106,60	317,50	664,49	591,69	106,60	221,76	349,89	350,36
109,20	210,80	365,71	339,15	109,20	314,44	653,46	584,19	109,20	221,72	349,85	350,32
111,80	209,46	362,78	337,34	111,80	311,61	642,91	577,06	111,80	221,68	349,75	350,24
114,40	208,19	359,99	335,65	114,40	308,94	632,59	570,19	114,40	221,64	349,70	350,19
117,00	206,98	357,35	333,99	117,00	306,39	623,29	563,78	117,00	221,60	349,62	350,08
119,60	205,85	354,79	332,41	119,60	304,10	615,08	557,95	119,60	221,58	349,56	350,07
122,20	204,80	352,42	330,95	122,20	302,03	607,34	552,29	122,20	221,52	349,48	349,98
124,80	203,79	350,12	329,54	124,80	299,98	599,86	546,80	124,80	221,47	349,40	349,93
127,40	202,81	347,89	328,14	127,40	297,86	592,43	541,15	127,40	221,45	349,37	349,90
130,00	201,84	345,67	326,75	130,00	296,13	586,23	536,55	130,00	221,42	349,33	349,83
132,60	200,91	343,49	325,40	132,60	294,40	579,98	531,92	132,60	221,41	349,23	349,78
135,20	200,01	341,39	324,07	135,20	292,98	574,56	527,86	135,20	221,38	349,16	349,71
137,80	199,19	339,47	322,87	137,80	291,60	569,44	523,99	137,80	221,35	349,09	349,65
140,40	198,40	337,57	321,66	140,40	290,31	564,64	520,29	140,40	221,33	349,03	349,63
143,00	197,59	335,66	320,43	143,00	289,03	560,03	516,71	143,00	221,29	348,95	349,56
145,60	196,87	333,91	319,26	145,60	287,83	555,80	513,41	145,60	221,23	348,87	349,50
148,20	196,19	332,27	318,23	148,20	286,69	551,72	510,21	148,20	221,21	348,84	349,47
150,80	195,52	330,62	317,19	150,80	285,59	547,75	507,21	150,80	220,90	348,33	348,94
153,40	194,87	329,05	316,18	153,40	284,56	543,99	504,32	153,40	220,87	348,25	348,91
156,00	194,20	327,46	315,14	156,00	283,57	540,33	501,57	156,00	220,87	348,21	348,86
158,60	193,61	326,00	314,16	158,60	282,66	536,88	499,01	158,60	220,82	348,12	348,78
161,20	193,03	324,57	313,24	161,20	281,76	533,57	496,56	161,20	220,79	348,06	348,72
163,80	192,42	323,11	312,28	163,80	280,90	530,30	494,13	163,80	220,75	347,99	348,66
166,40	191,86	321,77	311,37	166,40	278,86	522,53	488,56	166,40	220,69	347,89	348,56
169,00	191,35	320,49	310,53	169,00	274,19	505,20	475,75	169,00	220,66	347,84	348,52
171,60	190,83	319,21	309,71	171,60	273,63	503,06	474,23	171,60	220,63	347,76	348,47
174,20	190,33	318,02	308,92	174,20	273,02	500,78	472,53	174,20	220,59	347,68	348,40
176,80	189,87	316,90	308,13	176,80	272,47	498,78	471,06	176,80	220,54	347,61	348,32
179,40	189,42	315,77	307,40	179,40	271,93	496,85	469,62	179,40	220,50	347,56	348,26
182,00	189,01	314,75	306,70	182,00	271,41	494,89	468,21	182,00	220,48	347,50	348,25
184,60	188,57	313,69	305,97	184,60	270,89	493,03	466,82	184,60	220,44	347,44	348,21
187,20	188,15	312,65	305,28	187,20	270,41	491,24	465,55	187,20	220,40	347,39	348,14
189,80	187,76	311,67	304,63	189,80	269,95	489,50	464,24	189,80	220,35	347,31	348,05
192,40	187,35	310,68	303,93	192,40	269,48	487,81	463,00	192,40	220,33	347,18	1054,02
195,00	186,94	309,66	303,20	195,00	269,04	486,16	461,84	195,00	220,36	1183,33	1191,58
197,60	186,56	308,71	302,55	197,60	268,62	484,61	460,68	197,60	222,33	1133,40	1212,78
200,20	186,20	307,82	301,95	200,20	268,19	483,05	459,52	200,20	518,94	1051,44	1063,36
202,80	185,86	306,94	301,34	202,80	267,76	481,53	458,40	202,80	509,98	1008,02	1029,28
205,40	185,52	306,09	300,75	205,40	267,35	479,96	457,29	205,40	503,88	980,37	1006,13
208,00	185,17	305,23	300,16	208,00	266,93	478,48	456,20	208,00	497,35	965,03	985,45

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

210,60	184,81	304,37	299,50	210,60	266,55	477,08	455,16	210,60	488,91	953,01	978,02
213,20	184,49	303,57	299,03	213,20	266,18	475,67	454,10	213,20	483,43	943,54	967,52
215,80	184,16	302,76	298,48	215,80	265,81	474,36	453,14	215,80	478,29	930,57	953,88
218,40	183,96	302,01	298,00	218,40	265,45	473,05	452,21	218,40	472,28	918,52	934,05
221,00	183,64	301,24	297,54	221,00	265,09	471,80	451,24	221,00	465,52	908,73	917,04
223,60	183,34	300,51	297,08	223,60	264,74	470,52	450,30	223,60	456,56	895,65	904,48
226,20	182,98	299,78	296,58	226,20	264,40	469,22	449,35	226,20	444,43	877,92	892,40
228,80	182,80	299,13	296,09	228,80	264,07	468,03	448,41	228,80	429,96	865,84	880,21
231,40	182,47	298,31	295,52	231,40	263,77	466,90	447,60	231,40	416,42	844,72	867,19
234,00	179,78	291,72	290,47	234,00	263,44	465,77	446,80	234,00	404,77	811,93	854,73
236,60	179,58	291,19	290,03	236,60	263,15	464,70	445,98	236,60	394,24	787,37	841,98
239,20	179,37	290,68	289,61	239,20	262,84	463,60	445,17	239,20	384,72	766,78	831,80
241,80	179,14	290,09	289,16	241,80	262,55	462,50	444,38	241,80	375,91	748,80	821,01
244,40	178,92	289,57	288,76	244,40	262,26	461,44	443,61	244,40	368,48	729,06	809,71
247,00	178,72	289,09	288,34	247,00	261,96	460,34	442,80	247,00	361,65	705,64	796,56
249,60	178,56	288,68	288,02	249,60	261,67	459,22	442,07	249,60	354,94	692,91	782,14
252,20	178,35	288,15	287,66	252,20	261,37	458,11	441,31	252,20	348,83	683,89	767,02
254,80	178,18	287,74	287,32	254,80	261,10	457,05	440,54	254,80	343,27	671,17	751,72
257,40	177,98	287,26	286,95	257,40	260,82	456,02	439,86	257,40	338,29	656,92	737,49
260,00	177,81	286,80	286,64	260,00	260,57	455,06	439,19	260,00	333,65	648,76	724,06
262,60	177,62	286,35	286,19	262,60	260,32	454,08	438,57	262,60	329,45	638,22	711,20
265,20	177,45	285,93	285,86	265,20	260,07	453,20	437,90	265,20	325,63	630,81	698,98
267,80	177,30	285,52	285,54	267,80	259,83	452,30	437,27	267,80	321,95	622,94	687,06
270,40	177,11	285,10	285,21	270,40	259,62	451,46	436,72	270,40	318,60	613,39	675,77
273,00	176,94	284,68	284,90	273,00	259,36	450,59	436,05	273,00	315,51	605,95	664,71
275,60	176,77	284,28	284,55	275,60	259,14	449,71	435,46	275,60	312,48	598,72	653,61
278,20	176,64	283,90	284,22	278,20	258,89	448,89	434,86	278,20	309,64	591,62	642,68
280,80	176,47	283,54	283,98	280,80	258,67	448,11	434,30	280,80	306,88	583,50	632,13
283,40	176,33	283,15	283,62	283,40	258,45	447,29	433,74	283,40	304,31	575,45	622,28
286,00	176,17	282,76	283,30	286,00	258,25	446,54	433,21	286,00	301,88	568,44	613,28
288,60	176,02	282,39	283,03	288,60	258,03	445,78	432,64	288,60	299,57	561,44	604,73
291,20	175,87	282,00	282,66	291,20	257,83	445,08	432,12	291,20	297,34	554,92	596,54
293,80	175,69	281,61	282,38	293,80	257,60	444,30	431,58	293,80	295,27	548,83	589,03
296,40	175,56	281,27	282,09	296,40	257,38	443,53	431,01	296,40	293,18	542,69	581,42
299,00	175,43	280,96	281,79	299,00	257,18	442,86	430,53	299,00	291,26	537,06	574,53
301,60	175,29	280,61	281,55	301,60	256,98	442,14	430,00	301,60	289,44	531,86	567,89
304,20	175,14	280,27	281,23	304,20	256,79	441,48	429,50	304,20	287,71	526,83	561,56
306,80	175,01	279,93	280,98	306,80	256,58	440,81	429,01	306,80	285,96	521,84	555,27
309,40	174,88	279,59	280,68	309,40	256,38	440,18	428,54	309,40	284,34	517,18	549,46
312,00	174,73	279,24	280,33	312,00	256,19	439,52	428,04	312,00	282,79	512,69	543,89
314,60	174,59	278,91	280,12	314,60	256,01	438,90	427,56	314,60	281,34	508,50	538,75
317,20	174,45	278,57	279,81	317,20	255,82	438,31	427,17	317,20	279,99	504,53	533,99
319,80	174,32	278,27	279,61	319,80	255,64	437,72	426,68	319,80	278,70	500,73	529,42
322,40	174,19	277,95	279,35	322,40	255,46	437,17	426,29	322,40	277,40	496,85	524,89

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

325,00	174,06	277,66	279,03	325,00	255,28	436,58	425,82	325,00	276,18	493,15	520,52
327,60	173,95	277,34	278,84	327,60	255,12	436,00	425,44	327,60	274,94	489,40	516,11
330,20	173,82	277,06	278,54	330,20	254,91	435,40	424,98	330,20	273,78	485,96	511,47
332,80	173,71	276,76	278,26	332,80	254,75	434,87	424,56	332,80	272,66	482,62	507,61
335,40	173,58	276,47	278,06	335,40	254,58	434,29	424,12	335,40	271,60	479,44	503,96
338,00	173,46	276,19	277,82	338,00	254,41	433,73	423,69	338,00	270,54	476,22	500,32
340,60	173,35	275,93	277,60	340,60	254,24	433,25	423,29	340,60	269,56	473,22	497,09
343,20	173,23	275,65	277,34	343,20	254,07	432,74	422,93	343,20	264,18	457,27	479,48
345,80	173,11	275,36	277,09	345,80	253,90	432,21	422,53	345,80	263,41	455,09	477,04
348,40	172,98	275,04	276,80	348,40	253,73	431,73	422,12	348,40	262,68	452,92	474,66
351,00	172,85	274,74	276,54	351,00	253,56	431,22	421,73	351,00	261,93	450,79	472,30
353,60	172,74	274,48	276,31	353,60	252,69	428,56	419,70	353,60	261,23	448,77	470,13
356,20	172,62	274,20	276,10	356,20	252,24	427,21	418,64	356,20	260,57	446,78	467,99
358,80	172,51	273,93	275,85	358,80	252,07	426,77	418,27	358,80	259,87	444,80	465,85
361,40	172,41	273,70	275,66	361,40	251,94	426,35	417,97	361,40	259,15	442,76	463,61
364,00	172,29	273,44	275,41	364,00	251,80	425,94	417,63	364,00	258,49	440,87	461,52
366,60	172,21	273,21	275,18	366,60	251,66	425,51	417,32	366,60	257,85	439,04	459,50
369,20	172,10	272,94	274,97	369,20	251,53	425,15	417,03	369,20	257,20	437,16	457,43
371,80	171,99	272,73	274,76	371,80	251,39	424,71	416,66	371,80	256,63	435,50	455,59
374,40	171,86	272,41	274,52	374,40	251,24	424,30	416,35	374,40	256,06	433,82	453,83
377,00	171,75	272,15	274,26	377,00	251,09	423,89	415,99	377,00	255,49	432,21	452,04
379,60	171,65	271,93	274,07	379,60	250,96	423,50	415,71	379,60	254,97	430,76	450,48
382,20	171,56	271,70	273,88	382,20	250,79	423,06	415,38	382,20	254,45	429,24	448,89
384,80	171,46	271,46	273,68	384,80	250,68	422,72	415,08	384,80	253,92	427,83	447,39
387,40	171,37	271,24	273,47	387,40	250,53	422,30	414,76	387,40	253,45	426,48	445,94
390,00	171,24	270,98	273,22	390,00	250,41	421,95	414,46	390,00	252,97	425,09	444,53
392,60	171,17	270,76	273,10	392,60	250,27	421,57	414,19	392,60	252,47	423,76	443,12
395,20	171,07	270,55	272,83	395,20	250,14	421,19	413,85	395,20	252,05	422,51	441,87
397,80	170,97	270,34	272,65	397,80	250,00	420,80	413,57	397,80	251,60	421,37	440,60
400,40	170,86	270,11	272,47	400,40	249,88	420,48	413,26	400,40	251,16	420,15	439,33
403,00	170,80	269,92	272,28	403,00	249,75	420,14	412,98	403,00	250,71	419,01	438,09
405,60	170,70	269,71	272,05	405,60	249,62	419,77	412,72	405,60	250,33	417,88	436,99
408,20	170,37	268,94	271,37	408,20	249,49	419,44	412,42	408,20	249,94	416,87	435,93
410,80	170,13	268,37	270,89	410,80	249,37	419,08	412,14	410,80	249,55	415,86	434,81
413,40	170,03	268,20	270,67	413,40	249,22	418,74	411,88	413,40	249,17	414,89	433,76
416,00	169,95	268,00	270,51	416,00	249,10	418,40	411,55	416,00	248,81	413,92	432,71
418,60	169,87	267,81	270,33	418,60	248,97	418,03	411,27	418,60	248,44	412,98	431,70
421,20	169,79	267,63	270,18	421,20	248,85	417,72	410,99	421,20	248,08	412,04	430,73
423,80	169,70	267,41	269,96	423,80	248,74	417,42	410,76	423,80	247,78	411,17	429,83
426,40	169,60	267,20	269,79	426,40	248,62	417,12	410,49	426,40	247,43	410,22	428,83
429,00	169,53	267,02	269,61	429,00	248,51	416,80	410,25	429,00	247,06	409,34	427,89
431,60	169,43	266,81	269,44	431,60	248,38	416,46	409,99	431,60	246,75	408,49	427,00
434,20	169,34	266,63	269,24	434,20	248,27	416,18	409,74	434,20	246,43	407,68	426,14
436,80	169,27	266,49	269,11	436,80	248,13	415,85	409,46	436,80	246,16	406,92	425,32

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um equipamento de vazamento por centrifugação de

439,40	169,20	266,29	268,93	439,40	248,03	415,55	409,22	439,40	245,83	406,09	424,45
442,00	169,11	266,12	268,76	442,00	247,91	415,22	408,97	442,00	245,56	405,37	423,67
444,60	169,03	265,93	268,61	444,60	247,79	414,92	408,70	444,60	245,22	404,49	422,81
447,20	168,97	265,74	268,44					447,20	244,97	403,84	422,12
449,80	168,89	265,59	268,25					449,80	244,65	403,13	421,39
452,40	168,81	265,39	268,08					452,40	244,41	402,46	420,70
455,00	168,74	265,23	267,97					455,00	244,13	401,76	419,97
457,60	168,65	265,04	267,79					457,60	243,89	401,11	419,29
460,20	168,57	264,89	267,59					460,20	243,63	400,43	418,56
462,80	168,49	264,70	267,47					462,80	243,39	399,79	417,93
465,40	168,43	264,55	267,36					465,40	243,13	399,18	417,30
468,00	168,35	264,37	267,11					468,00	242,91	398,58	416,69
470,60	168,29	264,21	267,01					470,60	242,65	397,95	416,05
473,20	168,21	264,03	266,82					473,20	242,45	397,40	415,49
475,80	168,13	263,86	266,67					475,80	242,22	396,84	414,88
478,40	168,03	263,68	266,46					478,40	242,00	396,31	414,31
481,00	167,97	263,54	266,35					481,00	241,78	395,75	413,73
483,60	167,89	263,38	266,19					483,60	241,58	395,23	413,22
486,20	167,82	263,22	266,04					486,20	241,34	394,70	412,62
488,80	167,77	263,08	265,95					488,80	241,16	394,23	412,09
491,40	167,68	262,88	265,76					491,40	240,95	393,72	411,56
494,00	167,62	262,73	265,57					494,00	240,76	393,26	411,10
496,60	167,53	262,55	265,43					496,60	240,56	392,76	410,55
499,20	167,48	262,42	265,26					499,20	240,39	392,34	410,13
501,80	167,43	262,29	265,14					501,80	240,18	391,71	409,52
504,40	167,34	262,13	265,00					504,40	240,02	391,31	409,06
507,00	167,27	261,97	264,84					507,00	239,84	390,87	408,65
509,60	167,19	261,78	264,69					509,60	239,64	390,44	408,13
512,20	167,15	261,69	264,56					512,20	239,46	390,05	407,83
514,80	167,07	261,54	264,40					514,80	239,29	389,62	407,33
517,40	166,99	261,38	264,26					517,40	239,12	389,21	406,91
520,00	166,93	261,25	264,12					520,00	238,96	388,79	406,38
522,60	166,88	261,09	263,98					522,60	238,78	388,38	405,93
525,20	166,78	260,92	263,85					525,20	238,63	388,01	405,51

ANEXO F – DESENHOS TÉCNICOS