



# **AÇÕES DE MELHORIA DE PERFORMANCE E COMPETITIVIDADE DAS GAMAS DE MOTORES ELÉTRICOS FABRICADOS NA WEGEURO**

**RUI MANUEL CRESPO FLORES**

Setembro de 2018

# AÇÕES DE MELHORIA DE PERFORMANCE E COMPETITIVIDADE DAS GAMAS DE MOTORES ELÉTRICOS FABRICADOS NA WEGEURO

Rui Manuel Crespo Flores  
1140718

**2017/2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# AÇÕES DE MELHORIA DE PERFORMANCE E COMPETITIVIDADE DAS GAMAS DE MOTORES ELÉTRICOS FABRICADOS NA WEGEURO

Rui Manuel Crespo Flores  
1140718

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Carlos Miguel Pereira da Silva Santos e coorientação do Eng. Daniel José Teixeira Pimenta e do Eng. José Miguel Leal da Rocha.

**2017/2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

Doutora Maria João Viamonte  
Professora adjunta, ISEP

## **Orientador**

Doutor Carlos Miguel Pereira da Silva Santos  
Professor adjunto, ISEP

## **Co-orientador**

Eng.º Daniel José Teixeira Pimenta  
Chefe Engenharia do Produto, WEGeuro  
Eng.º José Miguel Leal da Rocha  
Engenharia do Produto, WEGeuro

## **Arguente**

<Grau Académico e Nome>  
<Categoria, Instituição>



## AGRADECIMENTOS

Após o término do Projeto de Estágio quero agradecer a todas as pessoas que me ajudaram e acompanharam no decorrer do mesmo.

Quero agradecer à WEGeuro – Indústria Elétrica, S.A. pela oportunidade que me proporcionou em elaborar o estágio curricular nas suas instalações, e agradecer ao ISEP pela preocupação que demonstra para que os seus alunos, além de adquirirem a componente mais teórica, complementem também com experiências de estágio.

Por conseguinte, quero agradecer aos meus orientadores, mais concretamente ao meu orientador do ISEP Eng.º Carlos Miguel Pereira da Silva Santos e aos orientadores da entidade acolhedora de estágio, Eng.º Daniel José Teixeira Pimenta e Eng.º José Miguel Leal da Rocha pela paciência e por todos os conselhos que me deram.

Além disso, quero deixar o meu agradecimento a todos os colaboradores da WEGeuro – Indústria Elétrica, S.A. que facilitaram a minha integração na entidade e que me receberam de forma muito familiar e acolhedora.

Em acrescento, quero agradecer à minha família e à minha namorada pela força e motivação.

A todos, um muito obrigado!



## **PALAVRAS CHAVE**

Motor Elétrico; Tampa Defletora; Ventilador; Mecânica dos Fluidos; Ansys CFX; Ruído; Caudal; Temperatura; Perdas

## **RESUMO**

O presente trabalho foi realizado no âmbito de um estágio curricular na WEGeuro e teve como principal objetivo a melhoria da performance e competitividade das gamas de motores elétricos fabricados na respetiva entidade.

A WEGeuro produz essencialmente motores elétricos para áreas de atividade especializada tais como aplicações em atmosferas explosivas.

Este projeto de intervenção focou-se em três etapas principais que por sua vez espelham o trabalho desenvolvido ao longo de seis meses de estágio.

A primeira etapa teve como objetivo a criação de mapas de ventilação de modo a compreender a influência dos ventiladores no desempenho dos motores elétricos. Para isso, foram selecionados os ventiladores mais aptos e viáveis de serem utilizados em cada motor elétrico sendo estes depois submetidos a ensaios laboratoriais de forma a permitir registar o seu comportamento. Assim, no futuro, caso a ventilação de algum motor não satisfaça os requisitos de ruído, caudal ou perdas mecânicas poderá recorrer-se à base de dados elaborada, permitindo escolher rapidamente um novo ventilador, visto que, já se obteve conhecimento prévio do seu comportamento. Para além deste trabalho, na seleção das opções de ventilação para cada motor, houve o cuidado de dar prioridade a ventiladores construídos em ferro fundido e sempre que possível à utilização de ventiladores radiais, uma vez que o seu custo é muito menor, permitindo assim tornar o preço final do motor elétrico ainda mais competitivo.

Por conseguinte, a segunda etapa consistiu na implementação industrial de uma nova tampa defletora em ferro fundido, para a gama de motor W22Xd (WPT). Nesta fase, os principais objetivos foram a redução de custos, a padronização visual e melhorias na ventilação do motor elétrico.

Por último, a terceira etapa focou-se no desenvolvimento de um novo ventilador axial para a gama W22XdT com o objetivo de aumentar o caudal de ventilação, assim como reduzir o custo do ventilador padrão.

Em suma, a realização deste trabalho na WEGeuro deu lugar a vários melhoramentos. É de salientar que, com as alterações efetuadas, é notória a redução de custos na produção, assim como, a redução do tempo despendido pelos colaboradores da

WEGeuro nas respetivas atividades. Assim, a entidade acolhedora de estágio melhorou a sua sustentabilidade, tornando-se mais rentável e produtiva.

**KEYWORDS**

Electric Motor; Fan Cover; Fan; Fluid Mechanics; Ansys CFX; Noise; Air Flow; Temperature; Losses

**ABSTRACT**

This project was done in the context of an internship at WEGeuro and it had as its principal objective the improvement of the performance and competitiveness of electrical motors produced at the company.

WEGeuro produces essentially electrical motors in specialized areas such as highly explosive environments.

This project focused on three principal phases which show the work involved during the six month internship.

The first phase had as its objective the creation of ventilation maps of electrical motors. For this purpose, the most suitable and viable ventilators were selected to be used in each electric motor. These were submitted to laboratory tests in order to register their performance so that, in the future, if the ventilation of a motor does not satisfy the noise and flow requirements, or mechanical losses, the collected data information can be used to quickly select a different ventilator since there is previous knowledge of its performance. Care was also taken to favour ventilators made of cast iron and, whenever possible, the usage of radial ventilators since they are cost-efficient thereby permitting a lower and more competitive final price of the electric motor.

The second phase consisted of the industrial implementation of a new fan cover in cast iron for the W22Xd (WPT) motor range. In this phase the principal objective was the reduction of costs, visual conformity and the improvement in the ventilation of the electric motor.

The third phase focused on the development of a new axial ventilator for the W22XdT with the objective of increasing the air flow of ventilation and the reduction of the cost of the pattern ventilator.

To sum up this project brought several advantages to the company. With the alterations here devised, the reduction of costs in the production and the reduction of time used by the workers of the WEGeuro are evident, therefore improving the company's sustainability, productivity and profitability.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CFD	Computational Fluid Dynamics
IC	International cooling code
IEC	International Electrotechnical Commission
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LA	Lado ataque
LD	Lado direito
LE	Lado esquerdo
LOA	Lado oposto ao ataque
ME	Motor Elétrico
MEs	Motores Elétricos
Nema	National Electrical Manufacturers Association
P	Polos
RF	Ruído de Fundo
RLA	Rolamento lado ataque
RLOA	Rolamento lado oposto ao ataque
TD	Tampa Defletora
TDs	Tampas Defletoras
WMO	WEG Motores
WPT	WEG Portugal

### Lista de Unidades

°C	Grau Celsius
dB	Decibel
Hz	Hertz
K	Kelvin
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
kg/s	Quilograma por segundo
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
N.m	Newton metro
Pa	Pascal
rad/s	Radiano por segundo
rpm	Rotações por minuto
W	Watt
€	Euro

### Lista de Símbolos

$A$	Área característica
$C_D$	Coefficiente de arrasto
$C_L$	Coefficiente de sustentação
$d_H$	Diâmetro do cubo
$d_T$	Diâmetro exterior
$LpA$	Nível médio de pressão sonora
$LpA'$	Ruído do Motor
$\dot{m}_{in}$	Caudal mássico na entrada de ar
$\dot{m}_{out}$	Caudal mássico na saída de ar
$n$	Rotações por minuto
$n_B$	Número de pás
$P_0$	Potência em vazio
$\dot{P}_{mecânica}$	Potência Mecânica
$\dot{P}_{total}$	Potência Total para acionamento do ventilador
$Q$	Caudal volúmico de ar
$r$	Razão entre diâmetros de cubo e externo
$r_m$	Raio médio efetivo do fluxo de ar
$T$	Binário Aplicado
$t$	Tempo
$V$	Velocidade do fluido
$\vec{V}$	Vetor velocidade
$\nu$	Viscosidade cinemática
$x_c$	Corda da pá
$x_p$	Distância do passo das pás
$\Delta T$	Elevação da temperatura
$\mu$	Viscosidade dinâmica
$\rho$	Densidade do fluido
$\omega$	Velocidade angular
$\nabla$	Operador nabra

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - MUSEU WEG	25
FIGURA 2 - WEGEURO MAIA (LOCAL DE ESTÁGIO)	26
FIGURA 3 – PRINCIPAIS COMPONENTES DO ME	37
FIGURA 4 - ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS COTAS DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DO ME	38
FIGURA 5 – ATRAVANCAMENTO DO MOTOR W22XD 315L	40
FIGURA 6 - PERDAS NOS MES	41
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS PERDAS NO ME	43
FIGURA 8 - QUEDA INTERNA DE TEMPERATURA NO ME	44
FIGURA 9 - POSIÇÕES DE MEDIÇÃO DO RUÍDO	47
FIGURA 10 - MÉTODOS DE REFRIGERAÇÃO	48
FIGURA 11 - IC411 MOTOR AUTO-VENTILADO	49
FIGURA 12 - IC416 MOTOR COM VENTILAÇÃO FORÇADA	49
FIGURA 13 - EXEMPLO TD PADRÃO MOTOR W22XD (WPT) 315	49
FIGURA 14 - MELHORIA DA VENTILAÇÃO MOTORES WEG	50
FIGURA 15 - FORÇA DE ARRASTO E DE SUSTENTAÇÃO NUM PERFIL ALAR	52
FIGURA 16 - CURVA CARACTERÍSTICA PARA O "PERFIL NACA AIRFOIL NO. 6512"	53
FIGURA 17 - DIMENSIONAMENTO DE VENTILADORES AXIAIS	54
FIGURA 18 - GEOMETRIA VENTILADOR AXIAL	55
FIGURA 19 - CARACTERÍSTICAS ALVO DE ESTUDO NOS VENTILADORES	67
FIGURA 20 - SÍNTESE DOS ENSAIOS REALIZADOS	68
FIGURA 21 - VENTILADORES RADIAIS EM FERRO FUNDIDO DE MENOR DIMENSÃO SELECIONADOS PARA OS MOTORES DE 2 POLOS	69
FIGURA 22 - EXEMPLO REAL DA SELEÇÃO DE VENTILADORES PARA O W50 450 J/H 2P 50 HZ	70
FIGURA 23 - SONÓMETRO LARSON DAVIS SOUNDTRACK LXT1	71
FIGURA 24 - PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO NO ME	71
FIGURA 25 - MEDIÇÃO DO RUÍDO NO ME	72
FIGURA 26 - ANEMÓMETRO DE HÉLICE (TESTO 416)	72
FIGURA 27 - PORMENOR DA HÉLICE DO ANEMÓMETRO	73
FIGURA 28 - PONTOS DE MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR	73
FIGURA 29 - MEDIÇÃO DE CAUDAL (PONTO 1)	73
FIGURA 30 - QUADRO RESUMO DOS VENTILADORES ENSAIADOS PARA O MOTOR W50 355 J/H 2P A 50 HZ	74
FIGURA 31 - MOTOR W22XD 315L 4P+	79
FIGURA 32 - REPRESENTAÇÃO PRÉVIA DAS HIPÓTESES DE TDS PARA O W22XD	80
FIGURA 33 – TD PADRÃO	80
FIGURA 34 – TD 2014	81
FIGURA 35 - LISTA DE VENTILADORES UTILIZADOS NO W22XD - 315 L / 315 SM	84
FIGURA 36 - VERIFICAÇÃO DE SOBREPOSIÇÕES DOS VENTILADORES NA TD 2014	84
FIGURA 37 - REDUÇÃO DA COTA F	86
FIGURA 38 - REDUÇÃO COTA H	87
FIGURA 39 - REDUÇÃO COTA I	88

FIGURA 40 - REDUÇÃO COTA K	89
FIGURA 41 – TD 2018	90
FIGURA 42 - KIT ANTI-QUEDA DE CORPOS	91
FIGURA 43 - MODIFICAÇÃO DO PARAFUSO	92
FIGURA 44 - PROPOSTA INICIAL KIT VENTILAÇÃO FORÇADA FLANGEADO	93
FIGURA 45 - CASTANHAS TD	93
FIGURA 46 - KIT DE VENTILAÇÃO FORÇADA - "ESTRUTURA ARANHA" W22XD (WPT)	93
FIGURA 47 - PROPOSTA INICIAL KIT DE VENTILAÇÃO FORÇADA - "ESTRUTURA ARANHA"	94
FIGURA 48 - NÚMERO DE CASTANHAS TD INICIAL	94
FIGURA 49 - KIT DE VENTILAÇÃO FORÇADA - "ESTRUTURA ARANHA" W50 400	95
FIGURA 50 - PROPOSTA FINAL KIT DE VENTILAÇÃO FORÇADA - "ESTRUTURA ARANHA"	95
FIGURA 51 - TD MOTOR W22XD (WMO): CASTANHAS ASSINALADAS A VERMELHO	96
FIGURA 52 - SUPORTE DE FIXAÇÃO DA TAMPA TRASEIRA (ASSINALADO A VERMELHO)	96
FIGURA 53 - PROBLEMAS DE MONTAGEM DA TD W22XD WMO NO MOTOR W22XD WPT	97
FIGURA 54 - ÁREA DE ENTRADA DE AR	98
FIGURA 55 – ANTES E DEPOIS DA TAMPA TRASEIRA SER MAQUINADA	101
FIGURA 56 - FOTOGRAFIA REAL DA MAQUINAGEM DAS CASTANHAS DA TD	102
FIGURA 57 - DESVIO DA TD APÓS O RECUO DO FURO DAS CASTANHAS DA TD	102
FIGURA 58 - FOTOGRAFIA REAL DO DESVIO DA TD APÓS O RECUO DO FURO DAS CASTANHAS	102
FIGURA 59 - TAMPA TRASEIRA MAQUINADA	103
FIGURA 60 - FOTOGRAFIA REAL DA TAMPA TRASEIRA COM AS ALTERAÇÕES REALIZADAS	103
FIGURA 61 - POSIÇÃO ORIGINAL DO VENTILADOR	104
FIGURA 62 - POSIÇÃO 1 (VENTILADOR 295X114, COTA P=32MM, COTA H=5MM)	104
FIGURA 63 - POSIÇÃO 1 (VENTILADOR PADRÃO 420X134, COTA P = 31 MM, COTA H = 6 MM, COTA F = 30.74 MM)	105
FIGURA 64 - POSIÇÃO 2 (VENTILADOR PADRÃO 420X134, COTA P = 31 MM, COTA H =28.2 MM, COTA F = 8.54 MM)	105
FIGURA 65 - FOTOGRAFIA REAL DA POSIÇÃO 1 DO VENTILADOR PADRÃO	105
FIGURA 66 - ANTES E DEPOIS DA ALTERAÇÃO DO VEIO PARA TESTAR A NOVA TD	106
FIGURA 67 - FOTOGRAFIA REAL DO VEIO COM AS ALTERAÇÕES REALIZADAS	106
FIGURA 68 - FURO CENTRAL REALIZADO NA TD WMO	107
FIGURA 69 - FOTOGRAFIA REAL DA TD COM AS ALTERAÇÕES REALIZADAS	107
FIGURA 70 - MOTOR W22XD 315 L 4P COM AS ALTERAÇÕES EFETUADAS	108
FIGURA 71 - EVOLUÇÃO DO MOTOR W22XD 315L 4P COM A ALTERAÇÃO DAS TD'S	109
FIGURA 72 - PONTOS DE MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR	112
FIGURA 73 - ME DIVIDIDO POR SECÇÕES PARA CALCULAR A MÉDIA DA VELOCIDADE DO AR	113
FIGURA 74 - PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO NO ME	115
FIGURA 75 - REFORÇOS DE FIXAÇÃO PARA VENTILAÇÃO FORÇADA DA PROPOSTA REALIZADA PARA A TD WPT	119
FIGURA 76 - TD WMO SEM REFORÇOS DE FIXAÇÃO	119
FIGURA 77 - PERFIL DAS PENAS ATUALMENTE UTILIZADA NA GAMA W22XDT (WPT)	121
FIGURA 78 - VENTILADOR DESENVOLVIDO PELA WEGEURO	123
FIGURA 79 - PERFIL DAS PÁS DO VENTILADOR DESENVOLVIDO PELA WEGEURO	124

FIGURA 80 - NOVA PROPOSTA DE VENTILADOR PARA A GAMA W22XDT	131
FIGURA 81 - TDS DISPONÍVEIS NA WEGEURO	150
FIGURA 82 - VENTILADORES RADIAIS EXISTENTES NA WEGEURO	179
FIGURA 83 - ANTES E DEPOIS DA TAMPA TRASEIRA SER MAQUINADA	183
FIGURA 84 - DESVIO DA TD APÓS O RECUO DO FURO DAS CASTANHAS DA TD	183
FIGURA 85 - TAMPA TRASEIRA MAQUINADA	184
FIGURA 86 - POSIÇÃO ORIGINAL DO VENTILADOR	185
FIGURA 87 - POSIÇÃO 1 (VENTILADOR 295X114, COTA P=32MM, COTA H=5MM)	185
FIGURA 88 - POSIÇÃO 1 (VENTILADOR CORRETO 234X89, COTA P = 9 MM, COTA H = 29 MM, COTA F = 81.54 MM)	185
FIGURA 89 - POSIÇÃO 1 (VENTILADOR 420X134, COTA P = 31 MM, COTA H = 6 MM, COTA F = 58.24 MM)	185
FIGURA 90 - POSIÇÃO 2 (VENTILADOR CORRETO 234X89, COTA P = 9MM, COTA H = 14 MM, COTA F = 96.54 MM)	185
FIGURA 91 - ANTES E DEPOIS DO VEIO SER MAQUINADO	186
FIGURA 92 - ALTERAÇÃO DA TD DO MOTOR W22XD (WMO) 355	186



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PLANEAMENTO DO ESTÁGIO CURRICULAR.....	29
TABELA 2 - LEGENDA DAS PRINCIPAIS COTAS DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DO ME .....	39
TABELA 3 - QUEDA INTERNA DE TEMPERATURA NO ME [17] .....	44
TABELA 4 - INFLUÊNCIA DO INCREMENTO DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO DOS ISOLAMENTOS.....	46
TABELA 5 - NÍVEIS MÁXIMOS DE POTÊNCIA E PRESSÃO SONORA PARA MOTORES TRIFÁSICOS, A VAZIO, EM DB E 60 HZ .....	47
TABELA 6 – VALORES TÍPICOS PARA AS CONSTANTES DO MODELO K - $\epsilon$ .....	59
TABELA 7 - VARIAÇÃO DA ROTAÇÃO DO ME COM A POLARIDADE E FREQUÊNCIA .....	66
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS TD PADRÃO.....	81
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS TD 2014 .....	82
TABELA 10 - COTA F .....	85
TABELA 11 - COTA O DOS VENTILADORES.....	85
TABELA 12 - COTA P DOS VENTILADORES .....	86
TABELA 13 - COTA H .....	87
TABELA 14 - COTA I.....	88
TABELA 15 - COTA K.....	89
TABELA 16 - CARACTERÍSTICAS TD 2018 .....	90
TABELA 17 - MELHORIAS COM A PROPOSTA TD 2018 .....	90
TABELA 18 - CARACTERÍSTICAS DA TD W22XD (WMO).....	97
TABELA 19 - DIÂMETRO DE ENTRADA DE AR E ÁREA DE ESCOAMENTO .....	98
TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS COMPRIMENTOS QUE AS TD SOBREPÕEM AS ALHETAS DO ME.....	100
TABELA 21 - COMPARAÇÃO DA TD W22XD WMO COM AS RESTANTES SOLUÇÕES.....	111
TABELA 22 - VELOCIDADES DO AR NA TD.....	112
TABELA 23 - PONTOS DE MEDIÇÃO DA VELOCIDADE EM CADA SECÇÃO.....	114
TABELA 24 - VELOCIDADE DE AR MÉDIA POR SECÇÕES .....	114
TABELA 25 - VARIAÇÃO PERCENTUAL DO CAUDAL DE AR DA TD WMO COM A TD PADRÃO .....	114
TABELA 26 -COMPARAÇÃO DO RUÍDO DO W2XD (WPT) COM A TD PADRÃO E A TD WMO .....	115
TABELA 27 - VARIAÇÃO PERCENTUAL DO RUÍDO DA TD WMO COM A TD PADRÃO .....	116
TABELA 28 - RESULTADOS DO ENSAIO DE AQUECIMENTO COM ESTABILIZAÇÃO TÉRMICA .....	116
TABELA 29 - PRINCIPAIS ALTERAÇÕES OBSERVADAS NAS DUAS ALTURAS DE EIXO .....	118
TABELA 30 – GEOMETRIA GERAL DO VENTILADOR AXIAL UTILIZADO NA GAMA W22XDT .....	121
TABELA 31 - PARÂMETROS UTILIZADOS NAS PÁS DO VENTILADOR PADRÃO DO W22XDT.....	122
TABELA 32 - RESULTADOS OBTIDOS COM A SIMULAÇÃO DO VENTILADOR PADRÃO .....	122
TABELA 33 - GEOMETRIA GERAL DO VENTILADOR CONCEBIDO PELA WEGEURO .....	123
TABELA 34 - PARÂMETROS UTILIZADOS NAS PÁS DO VENTILADOR CONCEBIDO PELA WEGEURO .....	124
TABELA 35 – RESULTADOS OBTIDOS COM A SIMULAÇÃO DO VENTILADOR CONCEBIDO PELA WEGEURO .....	124
TABELA 36 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS NUMÉRICOS DO VENTILADOR PADRÃO VS. PROPOSTA WEGEURO .....	125
TABELA 37 - CARACTERÍSTICAS DO VENTILADOR USANDO AS REGRAS DA BASF .....	126

---

TABELA 38 - ALTERAÇÃO DO NÚMERO DE PÁS DO VENTILADOR PROPOSTO PELA WEGEURO .....	127
TABELA 39 - ALTERAÇÃO DA CORDA DA PÁ PARA O DOBRO EM SIMULTÂNEO COM O NÚMERO DE PÁS .....	128
TABELA 40 - AUMENTO DO DIÂMETRO DO CUBO E NÚMERO DE PÁS .....	129
TABELA 41 - NOVA PROPOSTA DE VENTILADOR .....	129
TABELA 42 - GEOMETRIA GERAL DA NOVA PROPOSTA DE VENTILADOR PARA A GAMA W22XD .....	131
TABELA 43 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA NOVA PROPOSTA DE VENTILADOR PARA A GAMA W22XDT .....	132
TABELA 44 - MELHORIAS DO VENTILADOR PROPOSTO FACE AOS VENTILADORES DA WEGEURO.....	132
TABELA 45 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS NUMÉRICOS ENTRE OS VENTILADORES.....	132

# ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>1.1. Apresentação da Entidade Acolhedora</b> .....	<b>25</b>
1.1.1 WEG	25
1.1.2 WEGeuro – Portugal	26
<b>1.2. Motivação</b> .....	<b>27</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>27</b>
<b>1.4. Calendarização</b> .....	<b>29</b>
<b>1.5. Resumo do documento</b> .....	<b>30</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>35</b>
<b>2.1. Motor elétrico</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2. Sistema de ventilação</b> .....	<b>48</b>
2.2.1. Tampa Defletora	49
2.2.2. Ventiladores	51
<b>2.3. Modelação CFD</b> .....	<b>57</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO</b>	<b>63</b>
<b>3.1. Motores e seus ventiladores</b> .....	<b>63</b>
3.1.1. Contextualização	63
3.1.2. Metodologia	65
3.1.3. Descrição	66
3.1.4. Resultados	74
3.1.5. Discussão	77
<b>3.2. Implementação industrial de nova tampa defletora em ferro fundido para a gama W22Xd (WPT)</b> .....	<b>79</b>
3.2.1. Contextualização	79
3.2.2. Metodologia	83
3.2.3. Descrição	83
3.2.4. Resultados	108
3.2.5. Discussão	117
<b>3.3. Novo ventilador axial</b> .....	<b>121</b>
3.3.1. Contextualização	121

3.3.2. Metodologia	125
3.3.3. Descrição	126
3.3.4. Resultados	130
3.3.5. Discussão	133
<b>4. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>137</b>
4.1. Conclusões .....	137
4.2. Proposta de trabalhos futuros .....	137
<b>5. BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO</b>	<b>141</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>147</b>
ANEXO 1 - Exemplos de TDs disponíveis na WEGeuro.....	147
ANEXO 2 - Ventiladores existentes WEGeuro .....	151
ANEXO 3 - Ensaio dos Ventiladores .....	161
ANEXO 4 - Ventiladores radiais em ferro fundido existentes na WEGeuro .....	177
ANEXO 5 - Alterações efetuadas no Motor W22Xd (WPT) 355 A/B para ensaiar a TD WMO.....	181
ANEXO 6 – Simulações realizadas .....	187

# INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação da Entidade Acolhedora

1.2. Motivação

1.3. Objetivos

1.4. Calendarização

1.5. Resumo do documento



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. Apresentação da Entidade Acolhedora

### 1.1.1 WEG

A 16 de Setembro de 1961, na cidade de Jaraguá do Sul, um eletricitista, um mecânico e um administrador fundaram no Brasil a *Eletromotores Jaraguá*, mais precisamente Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus. As primeiras instalações da entidade (Figura 1) são hoje um Museu (fundado em 2003), que permite aprender e vivenciar de forma didática a história da empresa e dos motores elétricos (MEs), assim como toda a ciência a eles associada [1].



Figura 1 - Museu WEG [2]

Mais tarde, a Eletromotores Jaraguá passou a chamar-se WEG (iniciais dos fundadores) que se mantém até à atualidade [1].

Os anos 70 foram bastante importantes para a empresa, pois desde o momento que certificaram os seus motores conforme as normas ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*), iniciaram exportação para diversos países. Desde aí o seu crescimento foi notório e em 1975 produziram o motor número 1 milhão, uma etapa marcante na história da WEG [1].

Inicialmente a WEG focava-se na produção de MEs. Contudo, com o passar do tempo as suas atividades foram-se ampliando. A partir dos anos 80, a WEG começou a produzir componentes elétricos, produtos para automação industrial, transformadores de força e distribuição, tintas líquidas e em pó e vernizes eletroisolantes [1].

Assim a WEG tornou-se também fornecedora de sistemas elétricos industriais completos [1].

O Grupo WEG contempla cerca de 30.000 colaboradores, sendo que a sede e as principais indústrias encontram-se no Brasil, terra mãe da empresa. No entanto, para além da presença no Brasil, está presente nos cinco continentes, possuindo fábricas em 12 países: Argentina, África do Sul, Índia, China, México, Áustria, Portugal, EUA, entre outros. Em acrescento, possui filiais distribuídas por 29 países e ainda dezenas de agentes distribuídos por várias partes do mundo [1].

### 1.1.2 WEGeuro – Portugal

A WEGeuro era, até 2002, a EFACEC Universal Motors, sendo posteriormente adquirida pelo grupo WEG com o objetivo de penetrar no mercado Europeu [3]. Foi assim que a WEG adquiriu a primeira fábrica na Europa, cujas primeiras instalações foram em Portugal, mais precisamente na Maia (local de estágio) [4].

O local de estágio (Figura 2) situa-se junto à Zona Industrial da Maia na Rua Eng. Frederico Ulrich, Sector V 4470-605 Maia Apartado 6074, 4471-908 Maia – Porto/Portugal [5].

Atualmente a WEGeuro Portugal possui duas filiais, uma na zona industrial da Maia (já mencionada) e outra em Santo Tirso, empregando no total cerca de 600 colaboradores [6].

A WEGeuro tem como principal objetivo o fabrico de MEs, projeto e implementação de soluções de automação, energia e serviços [6]. A sua área foca-se essencialmente na produção de motores *standard* e especiais para áreas de segurança e atmosferas explosivas.

A aplicação de equipamentos sujeitos a este tipo de condições é ampla, como por exemplo plataformas *offshore*, indústria petroquímica, minas, cereais, entre outros. Neste tipo de aplicações a mistura do ar ambiente com gases, vapores e poeiras dão origem a atmosferas explosivas [7].



Figura 2 - WEGeuro Maia (local de estágio) [8]

## 1.2. Motivação

O aspeto térmico nos MEs é um parâmetro de extrema importância uma vez que está diretamente relacionado com a sua vida útil.

O aumento da temperatura afeta as propriedades mecânicas e elétricas dos seus materiais, agredindo assim os componentes mais suscetíveis a estas elevações, nomeadamente, o sistema de isolamento e os rolamentos (diminuindo o seu intervalo de lubrificação), assim como a sua vida útil.

Estas consequências, resultantes do aumento da temperatura, prejudicam o seu funcionamento e desempenho, podendo, na pior das hipóteses, levar à paragem não programada do motor elétrico (ME).

De modo a combater a elevação da temperatura os MEs da WEG estão equipados com sistemas de ventilação interno e externo que atuam por meio de convecção forçada.

Desta forma, é essencial garantir que os componentes integrantes do sistema de ventilação estão bem otimizados, de modo a reduzir as perdas mecânicas, e assim extrair a máxima potência do ME. Só é possível obter um bom rendimento garantindo temperaturas de operação adequadas.

Por outro lado, a redução de custos numa empresa é de extrema importância. Sempre que possível devemos ter em conta este objetivo sem ignorar a satisfação do cliente. Assim é possível aumentar as receitas e também tornar os produtos mais competitivos.

## 1.3. Objetivos

Após a explicação detalhada das potencialidades encontradas, definiu-se o seguinte objetivo para a realização da presente tese:

### **Objetivo Geral:**

- Melhorar a performance e competitividade das gamas de MEs fabricados na WEGeuro.

Para se atingir o objetivo geral acima indicado, foram identificados os seguintes objetivos específicos que levarão ao seu alcance.

### **Objetivos Específicos:**

- Criação de mapas de ventilação através da realização de ensaios experimentais dos ventiladores existentes, permitindo a seleção rápida do ventilador mais eficiente para cada motor, bem como padronizar e agilizar o emparelhamento do ME com a melhor opção de ventilação. (Secção 3.1)

- Implementação industrial de uma nova tampa defletora (TD) em ferro fundido para a gama W22Xd (WPT - WEG PORTUGAL), tendo como ponto de partida uma proposta realizada em 2014 para uma nova TD. Este objetivo inclui ainda o projeto e simulação de todos os opcionais para a TD em *SolidWorks*, mais precisamente, tampa anticorpos e kit de ventilação forçada. (Secção 3.2)
- Desenvolvimento de novo ventilador axial para a gama W22XdT, iniciando pelo anteprojecto e posterior avaliação do seu desempenho por simulação numérica utilizando o Software Ansys – CFX. (Secção 3.3)

#### 1.4. Calendarização

O estágio realizado na WEGeuro – Indústria Elétrica, S.A. concretizado por Rui Manuel Crespo Flores decorreu entre 26 de Março e 26 de Setembro de 2018. Para obter uma melhor gestão do tempo foi definido um plano inicial para realizar as tarefas propostas para o estágio. O plano definido pode ser observado no seguinte Diagrama de Gantt.

Tabela 1 - Planeamento do Estágio Curricular

Ações de melhoria de performance e competitividade das gamas de motores elétricos fabricados na WEGeuro							
2018							
OBJETIVOS	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Realização de ensaios laboratoriais dos atuais ventiladores							
Desenvolvimento industrial de nova tampa defletora em ferro fundido para a gama W22Xd							
Desenvolvimento de novo ventilador axial							

É importante referir que a presente calendarização foi apenas um planeamento, pelo que, na prática esta sofreu algumas alterações, mediante os recursos e tempo disponíveis. Disto é exemplo a segunda tarefa, uma vez que não se concretizou no tempo previsto. Esta tarefa prolongou-se até ao final (Setembro), uma vez que, os componentes demoraram a ser fabricados, o que, por sua vez, apenas possibilitou a realização dos ensaios laboratoriais no final do estágio, demorando assim a obter as conclusões necessárias nessa etapa.

## 1.5. Resumo do documento

Para uma visão mais abrangente desta tese faz-se aqui um resumo do documento.

### 1. Introdução

Nesta etapa foi relevante contextualizar o projeto que se pretendeu desenvolver, realizando uma breve descrição da entidade acolhedora de estágio, apresentado as principais motivações para a realização do mesmo. Assim como, é também apresentado os objetivos gerais e específicos que se pretende atingir e a respetiva divisão temporal para a elaboração do projeto. Em suma, é uma etapa de descrição e de planeamento face às fases que se seguem.

### 2. Revisão Bibliográfica

Após realizada uma breve contextualização e conhecidos os objetivos a atingir, é fundamental entender a bibliografia já existente sobre as diversas temáticas.

Nesta etapa é pertinente recorrer a bibliografia interna à entidade acolhedora de estágio, que permite obter uma visão mais clara sobre os procedimentos internos. Por outro lado, é também importante recorrer a bibliografia de especialistas externos à entidade e que dominam estas questões.

### 3. Desenvolvimento

Na fase do desenvolvimento prende-se o projeto propriamente dito, em que se descreve e demonstra-se o trabalho desenvolvido ao longo da formação prática em contexto de trabalho que levarão ao alcance dos objetivos propostos. Mais se informa que neste capítulo serão abordados três temas diferentes.

3.1. Motores e seus ventiladores - nesta secção, o principal foco prende-se com a realização de uma fiável seleção de ventiladores e respetivos ensaios nos motores, permitindo prever os comportamentos dos ventiladores nos respetivos motores, assim como permitir conhecer as melhores opções de ventilação para cada motor.

3.2. Implementação industrial de nova TD em ferro fundido – de seguida, é pretendido dar seguimento ao desenvolvimento de uma nova TD com o principal objetivo de redução de custos.

- 3.3. Novo Ventilador Axial – por fim, pretende-se fabricar um novo ventilador axial que permita uma melhoria no arrefecimento do motor W22XdT e redução de custos.

Cada uma das secções acima segue a seguinte estrutura em 5 pontos:

- Contextualização – onde se descreve a potencialidade de melhoria detetada;
  - Metodologia – descrição dos respetivos métodos utilizados no desenvolvimento do projeto;
  - Descrição – referência ao trabalho desenvolvido em estágio para o alcance de cada objetivo;
  - Resultados – descrição dos efeitos obtidos.
  - Discussão – considerações sobre as melhorias realizadas no âmbito do projeto em questão, assim como das consequências favoráveis ou não para a entidade acolhedora de estágio;
4. Conclusão e propostas de trabalho futuro – neste capítulo é feita uma reflexão sobre o trabalho desenvolvido, e realizada a respetiva verificação do alcance dos objetivos propostos. Identificam-se ainda melhorias a realizar no futuro.
  5. Bibliografia
  6. Anexos



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Motor elétrico

2.2. Sistema de ventilação

2.3. Modelação CFD



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Motor elétrico

O ME é uma máquina encarregada de transformar energia elétrica em energia mecânica através da geração de um movimento rotativo. Este destaca-se pela sua robustez, construção simples, baixo custo, elevada versatilidade além de ser uma máquina que não gera poluição [9].

A sua aplicação incide principalmente no acionamento de máquinas, equipamentos mecânicos, eletrodomésticos e outros usos não menos importantes e que por vezes não são perceptíveis. A sua criação abriu diversas potencialidades que até então não eram possíveis, o que leva a que nos dias de hoje esta seja uma máquina indispensável [9].

A invenção do ME pode ser considerada como um marco importante ao longo do desenvolvimento tecnológico do homem pelo que o conhecimento da sua história e evolução é deveras importante. Desta forma, seguidamente irá ser descrito de forma resumida algumas passagens relevantes.

#### **História do motor elétrico**

No século XIX surgiu a máquina elétrica, quando o cientista alemão Werner Siemens criou o primeiro gerador de corrente contínua autoinduzida. Contudo, muitos outros cientistas contribuíram para a sua criação pois envolveu estudos, pesquisas e invenções de diversos investigadores durante quase três séculos [10].

Como tal, para a máquina elétrica ser como é atualmente, ocorreu um longo processo de evolução, iniciado pela descoberta da eletricidade, quando um filósofo grego, Tales de Mileto, mostrou que ao esfregar um pedaço de pele animal a um âmbar, pedaços de palha e fragmentos de madeira começaram a ser atraídos pelo próprio âmbar. Com a sua observação nada conseguiu concluir, pelo que só no ano de 1600, William Gilbert publicou uma obra onde abordou a força da atração magnética [11]. Baseada nesta descoberta, no ano de 1663, foi construída a primeira máquina electrostática por Otto von Guericke e mais tarde aperfeiçoada por Martin Planta [10].

No final do século XVIII o professor, Luigi Galvani verificou que a interação de um bisturi com as pernas de uma rã morta penduradas numa grade de ferro, provocava uma contração, à qual designou de “eletricidade animal”. Alessandro Volta descobriu que dois metais distintos, mergulhados em líquido condutor, provocavam uma tensão

elétrica. Em 1799, o respetivo cientista, criou uma fonte de energia que designou “pilha de volta”, que permitia armazenar corrente elétrica [10].

A primeira etapa que possibilitou a evolução do ME foi proporcionada por Hans Christian Oersted que, em 1820, detetou um desvio nos ponteiros de uma bússola ao passar junto de um condutor elétrico por onde circulava corrente elétrica [10].

A descoberta do eletroímã ocorreu em 1825 por William Sturgeon. Este baseou-se na descoberta de Oersted, e verificou que, ao aplicar uma corrente elétrica num núcleo de ferro envolvido por um fio condutor elétrico este se transformava num ímã permanente [10].

Faraday descobriu em 1831 a indução eletromagnética, a teoria base do gerador elétrico e do transformador elétrico. As suas descobertas inspiraram outros trabalhos posteriores muito importantes nesta área, como por exemplo as equações de Maxwell. Hoje em dia as suas conclusões sobre campos eletromagnéticos são fundamentais para a física [10].

S. Dal Negro, cientista de profissão, em 1832 fabricou a primeira máquina com movimento vaivém de corrente alternada [10].

Em 1833, W. Ritchie descobriu o comutador, construindo um pequeno ME em que o núcleo de ferro enrolado rodava em volta de um ímã permanente. De forma a permitir uma rotação completa a cada meia volta, a polaridade do eletroímã era alternada, através do comutador [10].

Ficou comprovada em 1838, a aplicabilidade do ME através da conversão de energia elétrica em trabalho mecânico quando Moritz Hermann von Jacobi desenvolveu um ME e o aplicou numa lancha [10].

Muitos outros contribuíram para o seu desenvolvimento e até aos dias de hoje o ME tem sofrido inúmeras evoluções, o que lhe permite ser uma máquina eficiente e insubstituível.

## Componentes do motor elétrico WEG

O objeto de estudo desta dissertação foca-se nos motores de indução trifásicos totalmente fechados e auto ventilados. Desta forma, e para uniformizar a nomenclatura utilizada ao longo do trabalho, a Figura 3 apresenta os principais componentes de uma máquina deste tipo.

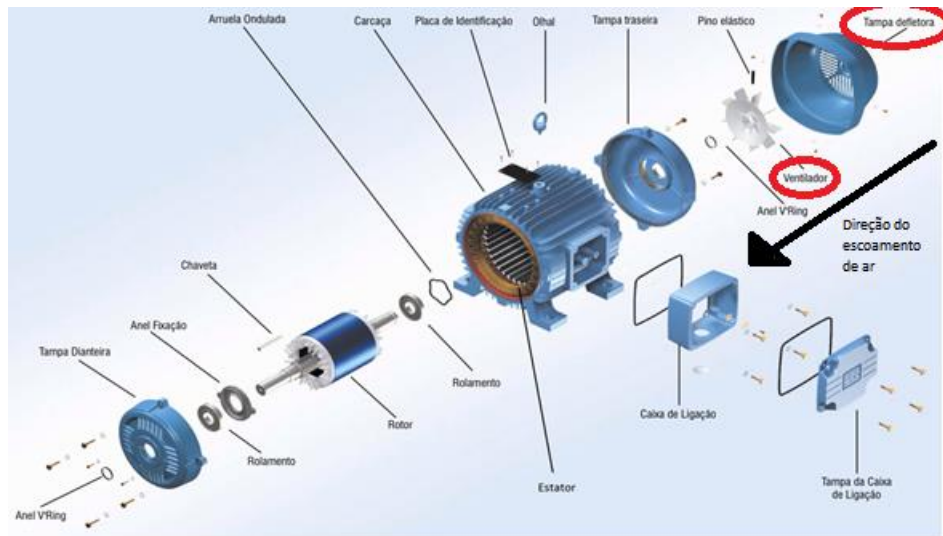


Figura 3 – Principais componentes do ME [12]

Na Figura 3, é possível observar a vermelho os componentes mais relevantes ao longo deste estudo, assim como, a direção do escoamento de ar no ME, através da “seta”, onde se verifica que ocorre de trás para a frente.

Devido ao foco principal deste trabalho ser a TD e o ventilador, foi criado um esquema de modo a facilitar a associação dos elementos assim como todos os parâmetros modificados ao longo deste trabalho (Ver Figura 4).

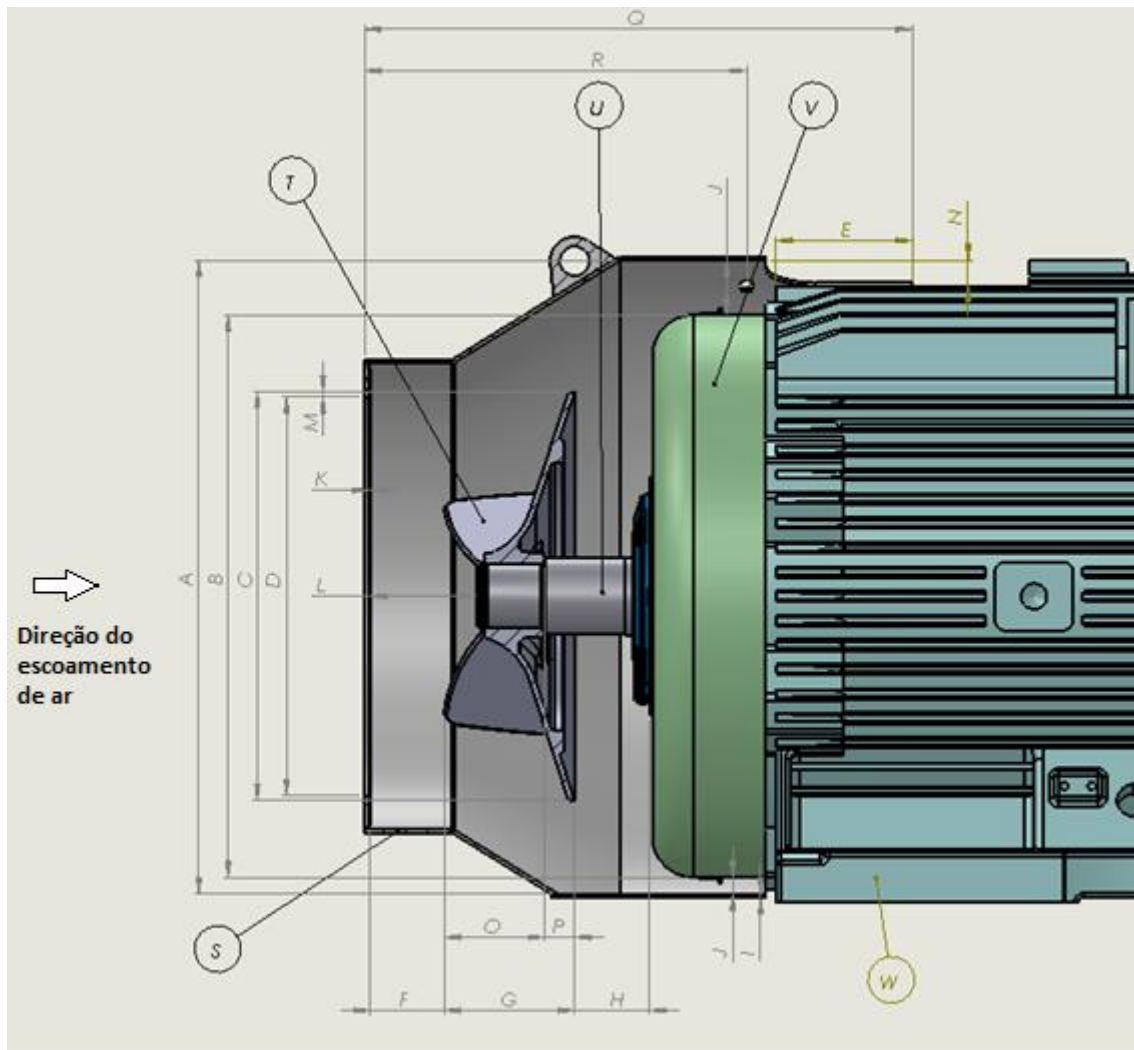


Figura 4 - Esquema com as principais cotas do sistema de ventilação do ME

A direção do escoamento de ar no ME dá-se de trás para a frente, e pode novamente ser observada através da “seta” assinalada na Figura 4.

Na Tabela 2 é possível observar a legenda das principais cotas e componentes que são mencionados ao longo do trabalho de modo a facilitar a explicação/compreensão das modificações efetuadas.

Tabela 2 - Legenda das principais cotas do sistema de ventilação do ME

Letra	Designação
S	Tampa Defletora
T	Ventilador
U	Veio
V	Tampa traseira
W	Carcaça
A	Diâmetro interno da TD
B	Diâmetro externo da Tampa Traseira
C	Diâmetro do Ventilador
D	Diâmetro da Entrada de ar
E	Comprimento que a TD sobrepõe as alhetas do motor
F	Distância do ventilador á TD
G	Largura do ventilador
H	Distância do ventilador à Tampa de Fecho do motor
I	Espessura da TD
J	Secção de passagem de ar
K	Espessura da Rede
L	Distância do Veio á Rede
M	Diferença entre o diâmetro de entrada de ar e o diâmetro do ventilador
N	Altura entre as alhetas do motor e a TD
O	Distância do batente do ventilador até à sua extremidade esquerda
P	Distância do batente do ventilador até à sua extremidade direita
Q	Comprimento da TD
R	Distância desde a fixação da TD até à sua extremidade

### Designação de um motor

Os motores da WEG são habitualmente designados de uma forma característica. Usando como exemplo a designação do seguinte motor: W22Xd 315 L, W22Xd corresponde à gama do motor e 315 L diz respeito às dimensões da carcaça.

Resumindo:

W22Xd - Gama do motor;

315 - Altura de eixo em mm (Ver Figura 5 Cota H);

L – Refere-se à distância entre os furos de fixação ao longo do comprimento da carcaça, que deve ser consultada no catálogo do W22Xd para uma altura de eixo de 315 mm. Neste caso em específico, tal como é possível observar na Figura 5, a distância L corresponde a 508 mm (Ver Figura 5 Cota B). Estas cotas estão consoante a norma IEC 60072-1.

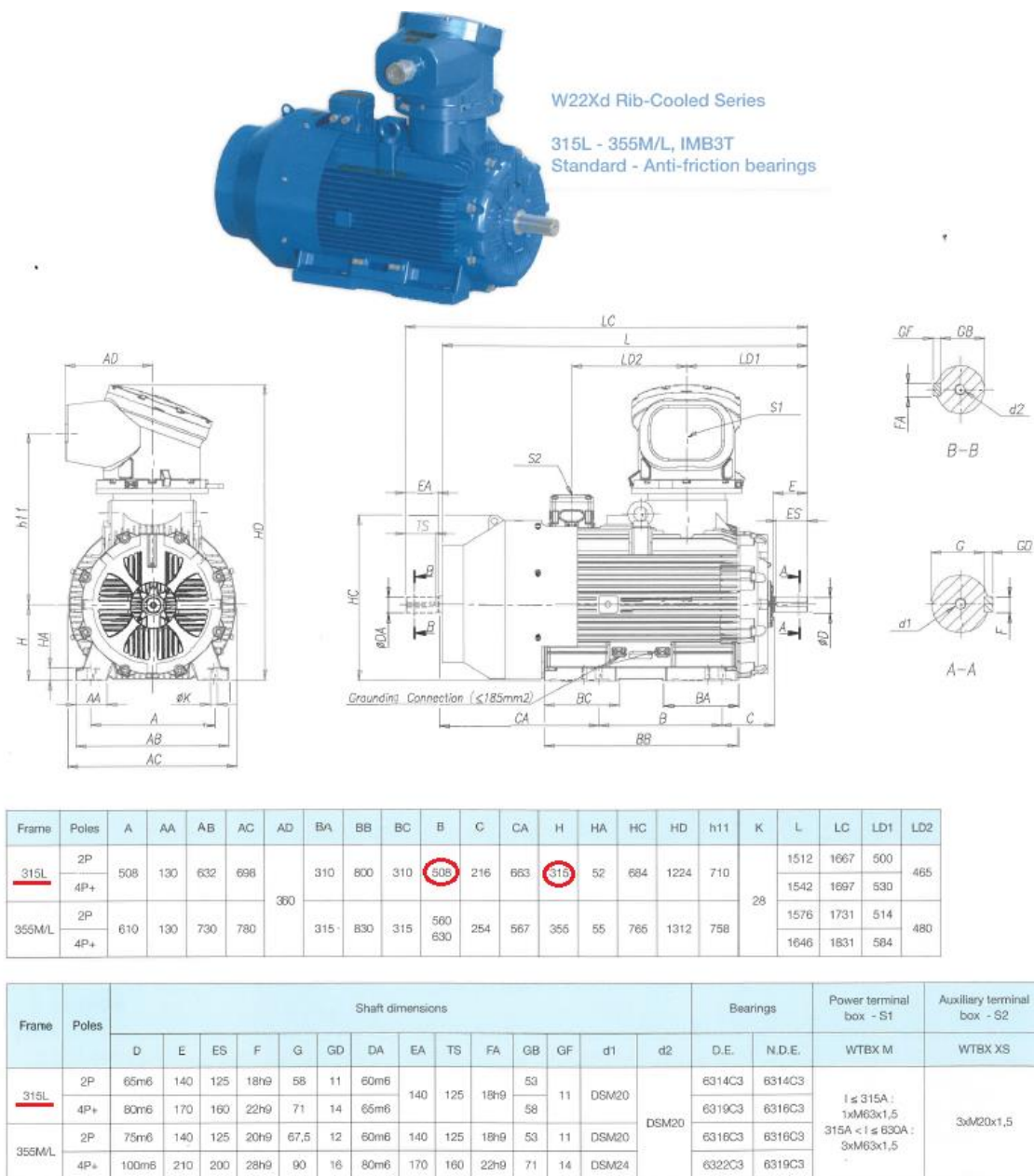


Figura 5 – Atravancamento do Motor W22Xd 315L [13]

Esta designação foi descrita de forma muito resumida. Para uma descrição mais detalhada é aconselhável consultar o catálogo da gama de motor pretendido disponível na [página WEB da WEG](https://www.weg.net/institucional/BR/pt/search/downloadcenter) (<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/search/downloadcenter>).

## Perdas nos motores elétricos

O ME, para além de transformar potência elétrica em potência mecânica, no decorrer desse processo gera, de forma não desejada, energia térmica (perdas). Isto faz com que a potência útil fornecida pelo motor na ponta do seu eixo seja menor que a potência que o motor absorve da linha de alimentação, o que leva a um rendimento inferior a 100% [14].

### Fontes de calor no motor

A porção de energia elétrica que é convertida em energia térmica manifesta-se fisicamente através da elevação da temperatura nos locais onde ocorreu essa conversão. Essa energia é transmitida ao longo do interior do motor devido aos mecanismos de transferência de calor presentes no mesmo, tais como a condução, convecção e radiação [14].

Existem quatro fontes diferentes de geração de calor no motor que são conhecidas como perdas de Joule, perdas no Ferro (ou núcleo), perdas mecânicas e perdas suplementares. A Figura 6 mostra as principais fontes de geração de calor, assim como as respetivas localizações [14].

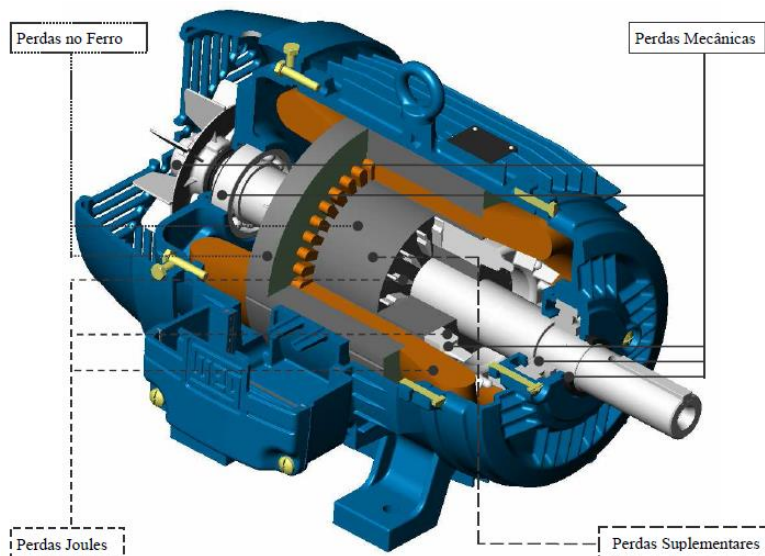


Figura 6 - Perdas nos MEs [14]

### Perdas de joule

As perdas de Joule ocorrem nos condutores do estator e do rotor pelo efeito de passagem de corrente e não dependem do tipo de alimentação, seja corrente contínua ou alternada. Estas são proporcionais à resistência elétrica do condutor e ao quadrado da corrente aplicada [14][15].

### Perdas no ferro

As perdas no Ferro ocorrem nas chapas do estator e do rotor. Estas são devidas às correntes parasitas (Foucault) e às perdas por histerese. Estas perdas variam com a frequência e, como no rotor a variação do fluxo é muito pequena, estas são desprezadas no rotor, ficando as perdas no ferro restritas somente ao estator [15].

As perdas por correntes de Foucault ocorrem devido a correntes elétricas induzidas nas laminações do estator. A sua distribuição não é uniforme e tendem a se concentrar nas superfícies das laminações. Estas perdas são significativas uma vez que, tal como as perdas por efeito de Joule, são proporcionais ao quadrado da corrente. Estas perdas são semelhantes às perdas de Joule, mas ocorrendo no ferro [15].

As perdas por histerese são provenientes da energia despendida para orientar os domínios magnéticos, mais precisamente alinhar os polos do material ferromagnético ao campo magnético [14].

### Perdas mecânicas

As perdas mecânicas estão associadas a perdas como o atrito viscoso entre o ar e todas as partes em movimento do motor, o atrito nos rolamentos e à energia fornecida aos sistemas de ventilação para deslocamento do ar. Estas estão presentes nos sistemas de ventilação interno e externo, no rotor e no veio, nos rolamentos e nas vedações [14].

### Perdas suplementares (perdas por dispersão em carga)

Por fim, de modo a permitir o fecho do balanço energético e uma vez que são perdas de difícil quantificação, agruparam-se as restantes perdas como perdas suplementares. No entanto, têm a sua importância e não devem ser desprezadas. Alguns dos fatores causadores de tais perdas são: o fluxo de dispersão, a distribuição não-uniforme da corrente, imperfeições mecânicas e irregularidades no entreferro [15].

Cezário (2005), citado por Veradi (2008), apresenta a distribuição das perdas descritas anteriormente e os respetivos locais onde as mesmas surgem [16]. De referir, que as parcelas das perdas estão numa escala relativa às perdas totais.

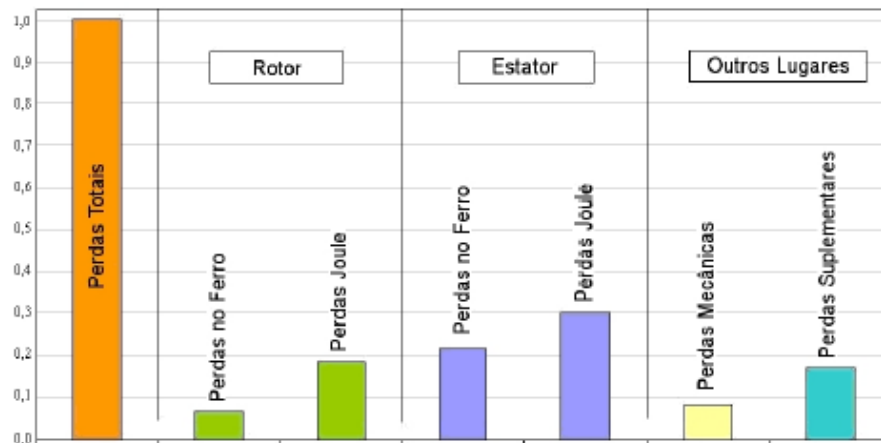


Figura 7 - Distribuição e localização das perdas no ME

[16]

### Dissipação do calor no motor eléctrico

A diferença entre a potência consumida na linha de alimentação e a potência na ponta do eixo do motor representam perdas que são transformadas em calor, o qual aquece o enrolamento. Este aquecimento deve ser evitado e, para isso, o calor deve ser dissipado tanto quanto possível para evitar uma elevação excessiva da temperatura [17].

É através da superfície externa alhetada da carcaça que o calor gerado internamente é dissipado para o ar ambiente. Normalmente, em motores fechados essa dissipação é auxiliada pelo ventilador montado no eixo do motor pelo fenómeno de convecção forçada [17]. Uma boa dissipação depende:

- da eficiência do sistema de ventilação;
- da área total de dissipação da carcaça;
- da diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e do ar ambiente.

A área total de dissipação deve ser a maior possível. No entanto, um motor com uma carcaça muito grande, de modo a obter uma maior área, seria dispendioso e pesado, além de que ocuparia muito espaço. Por isso, devido à necessidade de fabricar motores pequenos e leves a área de dissipação disponível é limitada. Isso é compensado em parte pelo aumento da área de transferência de calor através de alhetas fundidas junto com a carcaça [17].

Um sistema de arrefecimento eficiente é aquele que, através da menor área de dissipação possível, consegue dissipar a maior quantidade de calor. Para isso é necessário que a queda interna de temperatura, tal como mostrada na Figura 8, seja reduzida e portanto deve ocorrer uma boa transferência de calor desde o interior do

motor até à superfície externa. Relativamente à queda externa de temperatura convém ser a maior possível pois o interesse é dissipar o máximo de calor que foi absorvido pela queda interna [17].

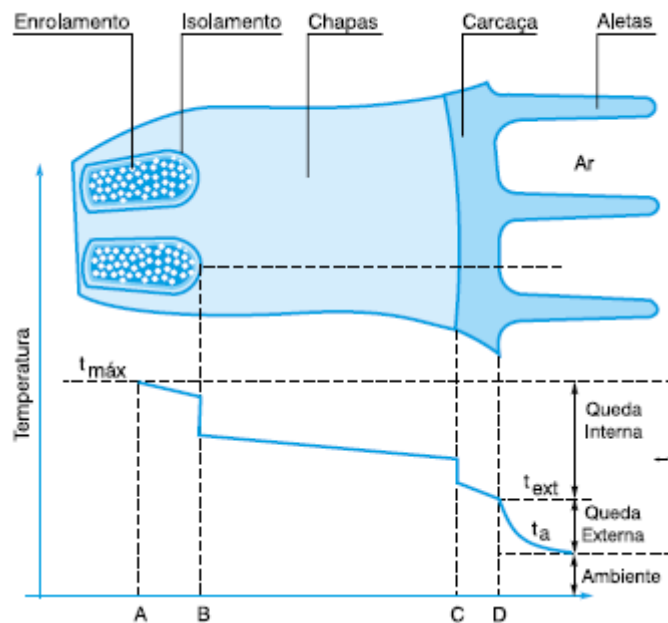


Figura 8 - Queda interna de temperatura no ME [17]

Como se pode verificar na figura anterior, a queda interna de temperatura depende de diversos aspetos, onde as temperaturas de determinados pontos importantes do motor são explicadas de seguida [17]:

Tabela 3 - Queda interna de temperatura no ME [17]

A	-	Ponto mais quente do enrolamento, no interior da ranhura, onde é gerado o calor proveniente das perdas nos condutores.
AB	-	Queda de temperatura na transferência de calor do ponto mais quente até os fios externos. Como o ar é um péssimo condutor de calor, é importante que não existam “vazios” no interior da ranhura, isto é, as bobinas devem ser compactas e a impregnação com verniz deve preencher os vazios, garantindo o enchimento perto dos 100%.
B	-	Queda através do isolamento da ranhura e no contacto deste com os condutores de um lado, e com as chapas do núcleo, do outro. O uso de materiais modernos melhora a transferência de calor através do isolante; a impregnação perfeita melhora o contacto do lado interno, eliminando espaços vazios; o bom alinhamento das chapas estampadas, melhora o contacto do lado externo, eliminando camadas de ar que prejudiquem a transferência de calor.

- 
- C - Queda no contato entre o núcleo e a carcaça. A condução de calor será tanto melhor quanto mais perfeito for o contacto entre as partes, dependendo do bom alinhamento das chapas e precisão da maquinação da carcaça. Superfícies irregulares deixam espaços vazios entre elas, resultando num mau contacto e, portanto má condução de calor.
- 
- CD - Queda de temperatura por condução através da espessura da carcaça.
- 

### **Influência do incremento de temperatura nos motores eléctricos**

O aumento da temperatura é extremamente prejudicial ao desempenho e funcionamento dos MEs. Os rolamentos e o sistema de isolamento eléctrico são os sistemas mais susceptíveis à elevação da temperatura. O aumento da temperatura leva a uma redução do intervalo de relubrificação dos rolamentos e afeta o desempenho dos materiais que compõem o sistema de isolamento eléctrico.

### **Influência do aumento da temperatura no sistema de isolamento eléctrico**

O ME é uma máquina com uma construção básica e ao mesmo tempo robusta, assim sendo o seu tempo médio de vida depende em grande parte da vida útil do isolamento do enrolamento. Esta é afetada por muitos fatores como humidade, vibrações, ambientes corrosivos e por fim, e talvez o mais importante, a resistência à temperatura dos materiais isolantes utilizados [17].

Existem diferentes sistemas de isolamento, que se dividem tendo em conta a função da respetiva classe térmica. Assim sendo, permite responder mais facilmente às diferentes formas de aplicação que os MEs estão sujeitos. Os materiais isolantes usados permitem criar a diferença nas classes térmicas [14].

Existem várias normas que definem as respetivas classes, das quais pode-se destacar:

- IEC

- *National Electrical Manufacturers Association (Nema)*

O principal requisito para a classificação dos materiais e sistemas de isolamento eléctrico é a resistência à elevação da temperatura por elevados períodos de tempo. A Tabela 4 apresenta algumas classes do sistema de isolamento utilizados em motores eléctricos, assim como, as suas principais características térmicas [14].

Tabela 4 - Influência do Incremento da Temperatura no Comportamento dos Isolamentos [17]

Classe de isolamento		A	E	B	F	H
Temperatura ambiente	°C	40	40	40	40	40
$\Delta t$ = elevação de temperatura ( método da resistência )	°C	60	75	80	105	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	10	15
Total: temperatura do ponto mais quente	°C	105	120	130	155	180

Por exemplo, para um motor de classe A, a elevação de temperatura média não deve exceder os 60°C, definida pelo método da resistência, que consiste em determinar a temperatura média do enrolamento do estator através da variação de sua resistência ohmica com a temperatura. O ponto quente deste enrolamento, com maior temperatura, não deve exceder uma temperatura 5°C acima da temperatura média. Assim, somando-se todos os valores máximos à temperatura ambiente padrão, o valor limite para esta classe de isolamento é 105 °C.

Uma elevação de temperatura acima do limite da classe térmica do sistema de isolamento, reduz significativamente a vida útil do enrolamento. Por exemplo, uma elevação de 8 a 10 graus pode reduzir a vida do enrolamento para metade. Se as temperaturas de operação forem mantidas abaixo do limite da sua classe térmica o isolamento tem praticamente uma duração ilimitada e o motor por sua vez também. Acima deste valor a vida útil do isolamento é diminuída à medida que a temperatura do sistema de isolamento aumenta [17].

### Influência do aumento da temperatura no comportamento dos rolamentos

A vida útil dos rolamentos está também diretamente dependente das temperaturas de operação. Com o aumento da temperatura, os intervalos de relubrificação devem ser encurtados de modo a não prejudicar o funcionamento dos mesmos [14].

Uma lubrificação inadequada poderá levar a uma falha precoce dos rolamentos e em casos mais graves pode ocasionar uma paragem não programada do ME [14].

Controlar a temperatura de operação dos rolamentos é um processo complexo, em especial a temperatura do rolamento dianteiro uma vez que o sistema de ventilação é montado na outra extremidade do ME. Desta forma, os valores de velocidade do ar sobre a superfície do rolamento são baixos, o que resulta num baixo coeficiente de convecção forçada nessa região. Nos casos mais graves, a elevada temperatura no rolamento dianteiro pode ter outras consequências, pois atinge magnitudes que inviabilizam ou limitam a potência que pode ser obtida para um determinado tamanho de carcaça [14].

## Ruído

Os motores WEG cumprem com os requisitos impostos pelas normas NEMA, IEC e ABNT. Estas normas especificam os limites máximos de nível de potência sonora, em decibéis. Na Tabela 5 é possível observar esses mesmos valores conforme a norma IEC 60034-9 [17].

Tabela 5 - Níveis máximos de potência e pressão sonora para motores trifásicos, a vazio, em dB e 60 Hz [17]

Carcaça	2 polos		4 polos		6 polos		8 polos	
	Potência	Pressão	Potência	Pressão	Potência	Pressão	Potência	Pressão
90	83	71	69	57	66	54	66	54
100	87	75	73	61	67	55	67	55
112	88	76	75	63	73	61	73	61
132	90	78	78	66	76	64	74	62
160	92	79	80	67	76	63	75	62
180	93	80	83	70	80	67	79	66
200	95	82	86	73	83	70	82	69
225	97	84	87	74	83	70	82	69
250	97	83	88	74	85	71	83	69
280	99	85	91	77	88	74	85	71
315	103	88	97	82	92	77	91	76
355	105	90	98	83	97	82	95	80

Para motores com funcionamento a 50 Hz devem ser retirados 5 dB aos motores de 2 Polos e 3 dB aos motores de 4,6,8 Polos. De referir também que os níveis de pressão e potência sonora para motores de 2 e 4 Polos com carcaça 355 são para ventiladores unidirecionais. Os restantes são para ventiladores bidirecionais [17].

De acordo com um documento interno da WEG (sem referência) o ruído médio pode ser calculado da seguinte maneira:

$$LpA = 10 \times \log_{10}[(10^{0.1 \times LA} + 10^{0.1 \times LOA} + 10^{0.1 \times LD} + 10^{0.1 \times LE})/4] \quad (1)$$

- Onde
- LpA = Nível médio de pressão sonora [dB]
  - LA = Ruído no Lado de ataque/dianteiro [dB]
  - LOA = Ruído no Lado oposto ao ataque/traseiro [dB]
  - LD = Ruído no Lado Direito [dB]
  - LE = Ruído no Lado Esquerdo [dB]

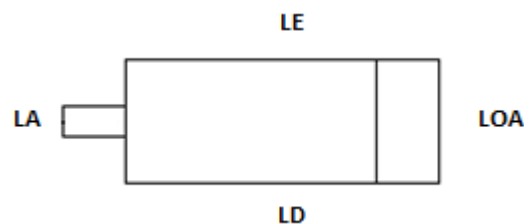


Figura 9 - Posições de medição do ruído

Aplicando a correção à equação anterior de modo a corrigir os efeitos do ruído de fundo, obtêm-se a seguinte equação:

$$LpA' = 10 \times \log_{10}[10^{0.1 \times LpA} - 10^{0.1 \times RF}] \quad (2)$$

Onde  $LpA'$  = Ruído do Motor [dB]  
 $LpA$  = Nível médio de pressão sonora [dB]  
 $RF$  = Ruído de Fundo [dB]

As equações anteriores são baseadas na Norma IEC34-9 / ISO 1680.

## 2.2. Sistema de ventilação

O sistema de ventilação (ventilador e TD) foi concebido para minimizar o ruído e aumentar a eficiência térmica. Para além de ter um ventilador eficiente, deve ser capaz de movimentar grande volume de ar, necessário para refrigerar o motor, e deve dirigir esse ar de forma a cobrir toda a superfície da carcaça, onde se dá a troca de calor, pois de nada adianta um grande volume de ar se ele se espalhar sem retirar o calor do motor [17].

Existem três tipos de ventilação dominantes definidos pela norma IEC60034-6, que define o IC (International cooling code) do motor [18].

Tal como é possível verificar na Figura 10, no método de refrigeração IC410/IC418, não se utiliza ventilador nem TD e o motor apenas é arrefecido por convecção natural [18].

Este método é utilizado quando o motor nas suas condições de trabalho não atinge grandes elevações de temperatura média, não ultrapassando o valor limite para a sua classe de isolamento, para ambientes onde existem muitas partículas em suspensão, ou em motores onde o arrefecimento é garantido pela máquina do cliente.

O método IC411, é constituído pela TD e pelo ventilador. Os sistemas de ventilação deste tipo são os mais utilizados (padrão), uma vez que utiliza a rotação do próprio veio do motor para rodar o ventilador [18].



Figura 10 - Métodos de refrigeração [13]

Por último, existe o método de refrigeração IC416 que é usado em situações extremas quando se pretende um maior arrefecimento do motor. É geralmente usado em motores de maiores dimensões ou motores de alta polaridade em que a rotação do próprio motor não proporciona caudal de arrefecimento suficiente. Este utiliza uma TD especial uma vez que é necessário suportar um motor auxiliar de menores dimensões para acionar o ventilador e por sua vez arrefecer o motor principal [18].

Estes dois últimos métodos arrefecem o motor por convecção forçada que, por ação do ventilador, movimentam o ar pelo interior da TD, que o direciona pelo espaçamento existente entre alhetas permitindo arrefecer a superfície do motor e dos rolamentos.



Figura 12 - IC416 Motor com ventilação forçada



Figura 11 - IC411 Motor auto-ventilado

### 2.2.1. Tampa Defletora

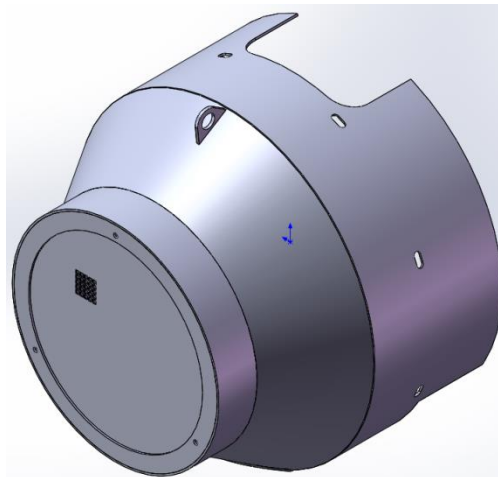


Figura 13 - Exemplo TD Padrão Motor W22Xd (WPT) 315

A TD é parte integrante do sistema de ventilação do ME. Esta encontra-se na parte traseira do mesmo e geralmente está acoplada à tampa traseira ou à carcaça dependendo da gama/projeto de motor. As suas funções principais recaem essencialmente em [18]:

- Direcionar o ar de forma a cobrir toda a superfície da carcaça, forçando-o a passar entre as alhetas da mesma, permitindo uma boa refrigeração do ME.
- Proteger o ventilador contra queda de objetos quando o mesmo se encontra em funcionamento.

A importância do papel da TD na eficiência da convecção pode ser constatada, por um estudo publicado, em 2014, pela revista ANSYS onde foram verificadas melhorias na ventilação do motor W50. Pela análise da Figura 14 é possível observar a diminuição de fenómenos de vorticidade que prejudicavam a ventilação do mesmo. Estas melhorias foram possíveis pela alteração do ventilador e também pela aproximação das pás do ventilador à chapa que guia o ar (defletor). Para além de melhorar a ventilação obtiveram-se reduções no ruído produzido pelo motor [19].

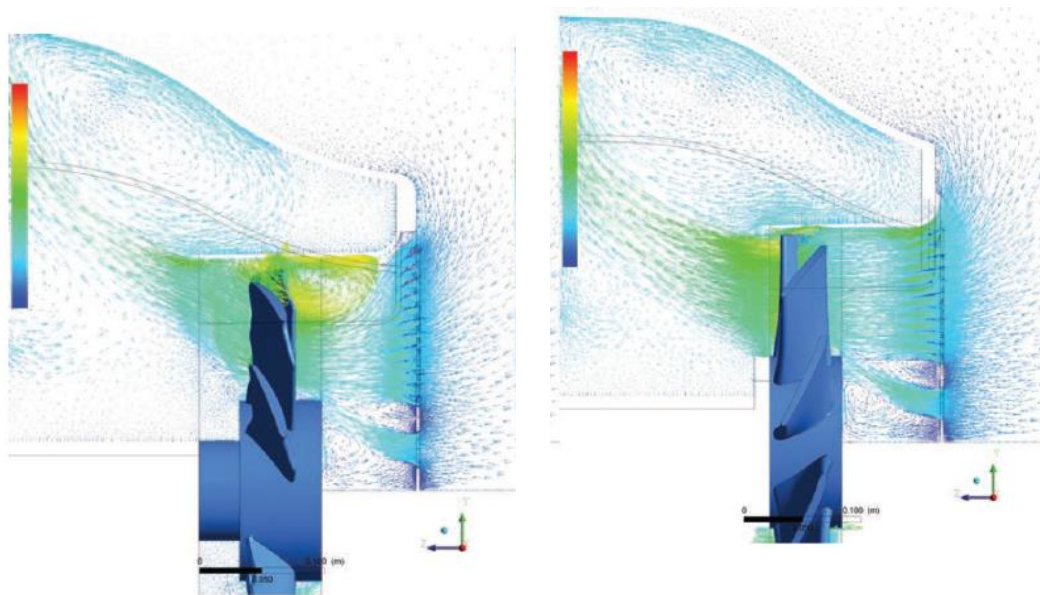


Figura 14 - Melhoria da Ventilação Motores WEG [19]

Segundo Leal (2014), quanto maior a diferença entre o diâmetro do ventilador e o diâmetro de entrada de ar, maior é o ruído produzido pelo motor. Isto deve-se ao fenómeno de vorticidade que é gerado quando o ar que entra no ventilador é projetado, colidindo com a deslocação de ar que está presente na parte superior do ventilador [18].

Leal (2014) comprovou também que, ao reduzir o diâmetro de entrada de ar, ocorria uma diminuição da velocidade do ar, tendo esta implicação direta no arrefecimento do ME [18].

No ANEXO 1 é possível observar as TDs existentes na WEGeuro e que serviram de base a este estudo.

### 2.2.2. Ventiladores

Segundo Ned Hémard, o ventilador foi inventado no final do século XIX, mais precisamente entre 1882 e 1886, por um engenheiro americano Shuyler Skaats Wheeler (1860 - 1923) [20].

O ventilador é um dispositivo mecânico que utiliza energia mecânica de rotação, de forma a movimentar e aumentar a pressão total do fluido [21].

De acordo com Rodrigues (2017), os ventiladores podem ser divididos em dois grandes grupos: axiais e radiais (centrífugos). Esta classificação tem em consideração o trajeto percorrido pelos fluidos no ventilador [22].

Nos ventiladores axiais o fluido desloca-se paralelamente ao eixo de rotação das pás quer à entrada quer à saída [22].

Nos ventiladores radiais, o fluido entra paralelamente ao eixo de rotação do impulsor, mas sai na perpendicular ao eixo de rotação do ventilador [22].

O gabinete de Eficiência Energética da Academia Saylor faz ainda uma subdivisão dos ventiladores axiais e radiais. Divide o grupo de ventiladores radiais em: “Pás radiais”, “Curvadas dianteiras” e “Curvadas traseiras”. O grupo de ventiladores axiais é dividido em: “Tubo axial”, “Axial com alhetas” e “Propulsor” [23].

Para dimensões e velocidades externas semelhantes, os ventiladores radiais geralmente são usados em situações onde é necessária maior pressão e menor fluxo de ar, enquanto que os ventiladores axiais são geralmente utilizados em sistemas de baixa perda de carga, ou seja, quando se pretende uma combinação de altos caudais e baixos níveis de ruído e consumo [24].

Tal como descrito em [23], os ventiladores axiais necessitam de maiores velocidades de rotação para obter as mesmas prestações dos ventiladores radiais.

Apenas nos MEs em que é definido um único sentido de rotação podem ser considerados o uso de ventiladores axiais. Em motores que possam trabalhar em ambos os sentidos de rotação existe a necessidade do uso de ventiladores radiais com pás retas uma vez que apresentam a mesma eficiência para ambos os sentidos de rotação, mesmo que isso implique a redução da sua eficiência no geral e aumento do ruído.

Geralmente, numa situação normal, a escolha do ventilador e da sua velocidade de rotação é opção do projetista, existindo apenas como dados de entrada uma necessidade de caudal e/ou de aumento de pressão. No caso de um ventilador para arrefecer um ME, estando este solidário com o rotor da máquina, a sua velocidade de

rotação não pode ser alterada. Desta forma, a escolha do tipo de ventilador está condicionada ao tipo de máquina que será aplicado [25].

Uma vez que não existe possibilidade de alterar a velocidade de rotação do ME, o estudo de uma nova geometria do ventilador axial terá como objetivo maximizar o caudal, aumentar o rendimento e diminuir o ruído.

### Ventiladores Axiais

Apenas em 1930, devido ao crescimento da indústria aeronáutica e ao aumento da compreensão dos perfis alares, surgiram ventiladores com desempenhos aceitáveis [25].

A imersão de uma placa estacionária num fluido em movimento provoca uma força de arrasto,  $D$ , na direção do escoamento. Se esta placa for inclinada de um determinado ângulo de ataque,  $\alpha$ , a deformação das linhas de corrente na parte superior e inferior darão origem a uma força de sustentação,  $L$ , e a um aumento da força de arrasto já existente [25].

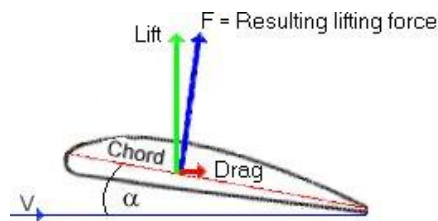


Figura 15 - Força de arrasto e de sustentação num perfil alar [26]

McPherson [21] defende que, no dimensionamento da pá de um ventilador axial, assim como da asa de um avião, deve ser obtida a máxima sustentação sem causar um aumento exagerado do arrasto. Ou seja, os perfis devem ser desenvolvidos de modo a maximizar o rácio  $C_L/C_D$ . A definição das forças em questão pode ser observada nas equações seguintes:

$$\text{Força de sustentação} \quad L = \rho \frac{V^2}{2} A C_L \quad (3)$$

$$\text{Força de arrasto} \quad D = \rho \frac{V^2}{2} A C_D \quad (4)$$

- Onde  $V$  = Velocidade do fluido [m/s]  
 $A$  = Área característica (normalmente a área inferior do perfil) [m<sup>2</sup>]  
 $\rho$  = Densidade do fluido [kg/m<sup>3</sup>]  
 $C_D$  = Coeficiente de arrasto [-]  
 $C_L$  = Coeficiente de sustentação [-]

Na Figura 16 pode ser observado o comportamento típico destes coeficientes, assim como a influência do ângulo de ataque nos mesmos.

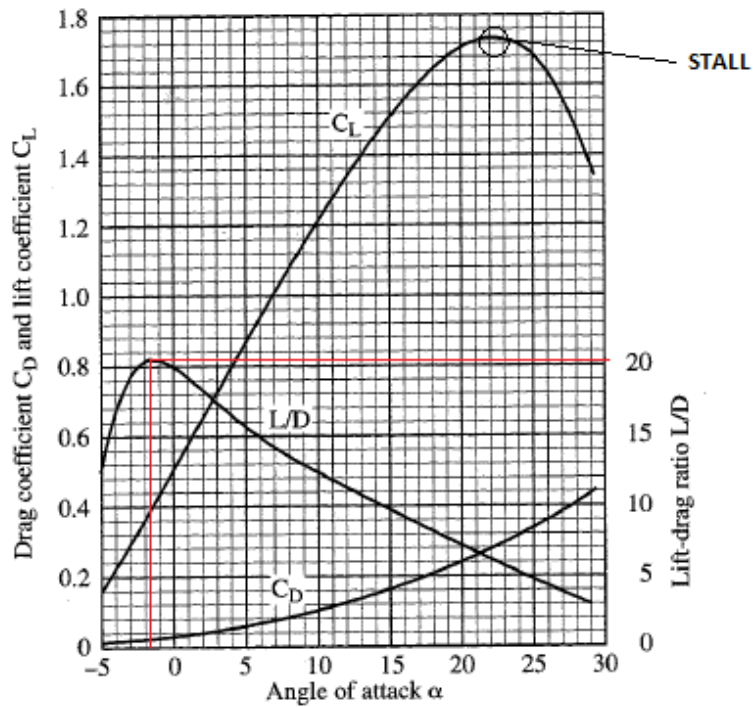


Figura 16 - Curva característica para o "Perfil NACA airfoil no. 6512" [27]

O ângulo de ataque para o qual ocorre o fenômeno de "STALL" (Figura 16) deve ser evitado pois provoca um aumento e a propagação de vórtices de turbulência, conduzindo a um aumento de vibração das pás e conseqüentemente do ruído, desgaste e fadiga [25].

## Perdas no ventilador

Tendo em conta o volume de controlo definido pela entrada de ar, saída de ar, túnel e ventilador é possível realizar o seguinte balanço recorrendo aos Princípios de Conservação da Massa [25]:

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = 0 \quad (5)$$

Onde  $\dot{m}_{in}$  = Caudal mássico na entrada de ar [kg/s]  
 $\dot{m}_{out}$  = Caudal mássico na saída de ar [kg/s]

É possível considerar a potência de perdas como perdas mecânicas por atrito com o ar e de turbulência, diretamente relacionadas com o binário necessário para movimentar o ventilador. Esta pode ser calculada da seguinte forma [25]:

$$\dot{P}_{mecânica} = T \times \omega = T \times 2\pi \times \frac{n}{60} \quad (6)$$

Onde  $\dot{P}_{mecânica}$  = Potência Mecânica [W]  
 $T$  = Binário Aplicado [N.m]  
 $\omega$  = Velocidade angular [rad/s]  
 $n$  = Rotações por minuto [rpm]

## Dimensionamento de ventiladores axiais

Pode-se dividir o dimensionamento de ventiladores em dois grupos diferentes: referente à geometria geral do ventilador e ao perfil da pá (Figura 17).

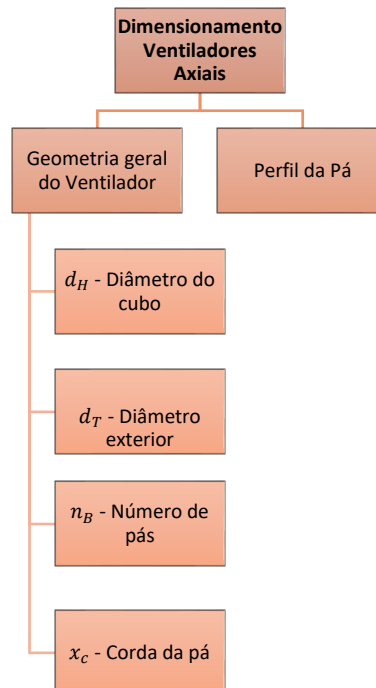


Figura 17 - Dimensionamento de ventiladores axiais

Na Figura 18 é possível observar os principais parâmetros que fazem parte da geometria de um ventilador:

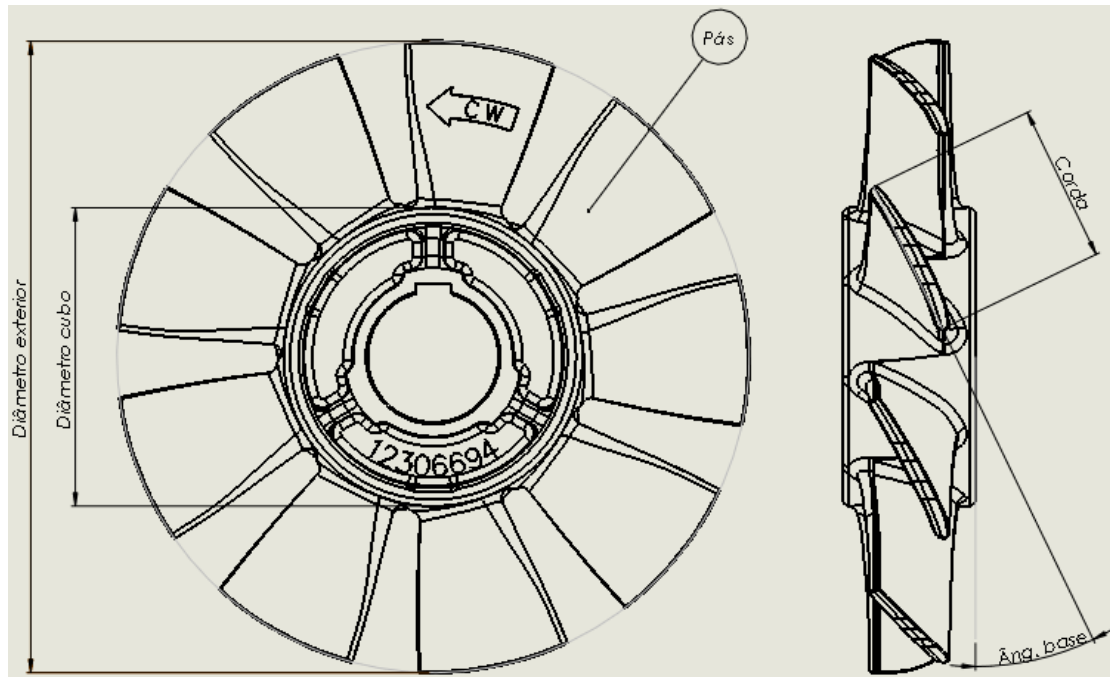


Figura 18 - Geometria ventilador axial

### Geometria geral do ventilador

Relativamente à geometria geral do ventilador são definidas pela BASF [28] um conjunto de regras que permitem obter um ponto de partida adequado para definir grande parte dos parâmetros necessários no dimensionamento dos ventiladores axiais [25].

Destes parâmetros o diâmetro exterior,  $d_T$  e, o Diâmetro do cubo,  $d_H$ , são dependentes da máquina onde o ventilador será aplicado, pelo que o seu valor será fixo ou bastante restrito [25].

De acordo com o procedimento de cálculo da BASF [28], os restantes dois parâmetros podem ser obtidos da seguinte forma:

$$r = \frac{d_H}{d_T} \quad (7)$$

$$n_B = \frac{6r}{1-r} \quad (8)$$

$$r_m^2 = \frac{d_T^2 + d_H^2}{8} \quad (9)$$

$$x_p = \frac{2\pi \cdot r_m}{n_B} \quad (10)$$

$$1 \leq \frac{x_c}{x_p} \leq 4 \quad (11)$$

Onde	$r$	=	Razão entre diâmetros de cubo e externo [-]
	$r_m$	=	Raio médio efetivo do fluxo de ar [mm]
	$x_p$	=	Distância do passo das pás [mm]
	$x_c$	=	Corda da pá [mm]

Com base nestes procedimentos é possível alcançar um ponto de partida sólido para o dimensionamento inicial do ventilador.

### Perfil da Pá

A forma das pás é um parâmetro de grande importância nos ventiladores axiais. Como tal, sempre que possível deve ser selecionado um perfil que maximize o rácio  $C_L/C_D$  [25].

Panigrahi e Mishra analisaram vários perfis alares da EPPLER e da NACA utilizados em diversas aplicações. Estes autores obtiveram através de simulação numérica os coeficientes de sustentação e arrasto para os vários perfis tendo concluído que o perfil designado “NACA 747A315” conduziu à obtenção do maior rácio  $C_L/C_D$ , na ordem de 13 [25].

No entanto, autores como Bleier [27] afirmam que por vezes é desejável usar perfis de chapa de espessura única devido à sua simplicidade que se traduz num custo de produção reduzido.

Spasic et al. [29] obtiveram eficiências da ordem dos 60-65% em ventiladores com diâmetro exterior de 630 mm e diâmetro do cubo 302.4 mm ( $r = 0.48$ ), através do estudo referente ao uso de perfis simétricos em casos de baixa pressão. O caudal obtido neste estudo rondou os 3.25 - 3.78 m<sup>3</sup>/s.

Para além do perfil das pás, parâmetros como o ângulo de base, a torção da pá e a variação da corda com o diâmetro do ventilador são fatores essenciais para a obtenção de bons resultados. No entanto, estes são de difícil definição uma vez que a alteração de um deles causa uma modificação do fluxo de ar que por sua vez pode influenciar os restantes.

## 2.3. Modelação CFD

### Modelo Matemático

O escoamento de ar sobre as pás de um ventilador é regido por leis fundamentais, entre elas a conservação da massa e a conservação da quantidade de movimento.

#### Equação da conservação da Massa (Equação da continuidade)

A equação da continuidade traduz matematicamente a conservação da massa aplicada a uma parcela de fluido num escoamento [30].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (12)$$

Neste caso, como se trata de um fluido incompressível, a massa volúmica ( $\rho$ ) é constante, ou seja, não varia em função do tempo, e assim  $\partial \rho / \partial t \approx 0$ . Tendo em conta o que foi dito anteriormente, e, se dividimos a equação resultante pela massa volúmica ( $\rho$ ) obtém-se a seguinte simplificação [30]:

$$\nabla \cdot (V) = 0 \quad (13)$$

Deste modo, expandindo o operador Nabla ( $\nabla$ ) e o vetor velocidade,  $V = (u, v, w)$ , com a utilização de coordenadas cartesianas a equação anterior assume agora a seguinte forma [30]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

#### Equação da conservação da quantidade de movimento

A segunda lei de Newton iguala a variação de quantidade de movimento às forças a atuar no fluido [30],

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t}}_I + \underbrace{\frac{(\rho u_j u_i)}{\partial x_j}}_{II} = - \underbrace{\frac{\partial p}{\partial x_i}}_{III} + \underbrace{\frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}}_{IV} - \underbrace{\rho g \delta_{i3}}_V \quad (15)$$

Onde,

I - aceleração local ou termo transiente

II - aceleração convectiva ou termo convectivo

III - gradiente de pressão

IV - difusão viscosa ou termo difusivo

V - impulsão

$\tau_{ij}$  – tensor de corte

$\delta_{i3}$  – tensor de Kronecher

Dividindo a equação anterior pela massa volúmica do fluido ( $\rho$ ) e expandindo o tensor de corte,  $\tau$ , obtém-se a seguinte equação [30]:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - g \delta_{i3} \quad (16)$$

em que,  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ , é a viscosidade cinemática.

Quando a equação de conservação de massa para o escoamento incompressível é invocada para a simplificação das tensões viscosas e se admite que a viscosidade molecular é constante, chegamos a uma equação que é conhecida por equação de Navier-Stokes [30]:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - g \delta_{i3}, \quad (17)$$

que também pode ser escrita da seguinte forma para cada dimensão cartesiana [30]:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (18)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (19)$$

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \rho g_z \quad (20)$$

## Modelo de Turbulência k-ε

O modelo de turbulência k-ε é dos modelos mais utilizados. Neste modelo de Launder and Spalding (1972), a viscosidade turbulenta é obtida por [30]:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (21)$$

onde  $C_\mu$  é uma constante. As quantidades  $k$  e  $\varepsilon$  representam a energia cinética de turbulência e a sua taxa de dissipação. Estas quantidades podem ser obtidas pela resolução das equações de transporte [30]:

$$\rho \frac{\partial(\bar{u}_j k)}{\partial x^j} = \frac{\partial}{\partial x^j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x^j} \right] + P_k - \rho \varepsilon, \quad (22)$$

$$\rho \frac{\partial(\bar{u}_j \varepsilon)}{\partial x^j} = \frac{\partial}{\partial x^j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x^j} \right] + \frac{C_1 \varepsilon}{k} P_k - \frac{C_2 \rho \varepsilon^2}{k} \quad (23)$$

com a produção mecânica da turbulência dada por [30]:

$$P_k = \sigma_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x^j} \quad (24)$$

com

$$\sigma_{ij} = -\overline{\rho u_i' u_j'} = -\frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} + \mu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x^j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x^i} \right) \quad (25)$$

As quantidades  $C_\mu$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$ ,  $C_1$  e  $C_2$  são constantes empíricas obtidas por calibração do modelo k - ε. Valores típicos destas constantes são apresentados na Tabela 6 [30].

Tabela 6 – Valores típicos para as constantes do modelo k - ε

$C_1$	$C_2$	$C_\mu$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
1.44	1.92	0.09	1.0	1.3

## Ferramenta CFD - ANSYS

As equações fundamentais que regem o movimento de um fluido envolvem um sistema de equações diferenciais que não possuem, de forma geral, uma solução analítica [30].

De modo a obter solução para este tipo de problemas utilizam-se técnicas numéricas que recorrem ao uso de computadores digitais onde são utilizados algoritmos de cálculo especificamente desenvolvidos para o efeito [30].

A Mecânica de Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics – CFD) produz um conjunto de equações algébricas representativas do problema em estudo, obtidas por um processo de discretização das equações diferenciais fundamentais em pequenos domínios espaciais e / ou temporais, sendo depois esse sistema de equações algébricas “resolvido” num computador digital, produzindo uma solução discreta [30].

Na WEG é utilizado o Ansys CFX como programa de simulação, pelo que a escolha da ferramenta CFD se restringiu a este software.

# DESENVOLVIMENTO

3.1. Motores e seus ventiladores

3.2. Implementação industrial de nova tampa defletora em ferro fundido para a gama W22Xd (WPT)

3.3. Novo ventilador axial



### 3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será descrito em detalhe o trabalho desenvolvido ao longo do estágio, respondendo aos objetivos propostos inicialmente.

No primeiro subtópico, MOTORES E SEUS VENTILADORES, é descrito o procedimento para a seleção dos ventiladores assim como, os respetivos ensaios nos motores, permitindo prever o comportamento dos ventiladores nos respetivos motores, assim como conhecer as melhores opções de ventilação para cada máquina.

O segundo subtópico, IMPLEMENTAÇÃO INDUSTRIAL DE NOVA TD EM FERRO FUNDIDO, foca-se no desenvolvimento de uma nova TD para o motor W22Xd com o principal objetivo de redução de custos. Nesta fase serão realizadas várias iterações recorrendo a TDs existentes, que permitiram desenvolver uma nova proposta para a TD, que aqui se designará TD 2018. Contudo, para evitar a construção de novos moldes para a realização de uma nova TD foi utilizada a TD WMO (WEG Motores - proveniente do Brasil) devido às suas semelhanças geométricas em que apenas necessitou de pequenas alterações em dois componentes do ME, nomeadamente no veio e na tampa traseira.

Por último, no terceiro subtópico, NOVO VENTILADOR AXIAL, pretendeu-se desenvolver um novo ventilador axial que permita uma melhoria no arrefecimento do motor W22XdT, assim como uma redução de custos.

#### 3.1. Motores e seus ventiladores

Neste subtópico do capítulo Desenvolvimento pretende-se atingir o objetivo de **Selecionar o ventilador mais eficiente para cada motor.**

##### 3.1.1. Contextualização

Com vista a melhorar a sua competitividade, os motores da WEG são constantemente alvo de estudos e de melhorias. Como tal, surgiu a necessidade de melhorar a seleção de um dos seus constituintes, nomeadamente os ventiladores.

Atualmente, o uso dos ventiladores está padronizado para as diferentes polaridades, dimensões de carcaça e gamas de motores. Contudo, nem sempre cumprem com os requisitos normativos, nem cobrem todas as necessidades solicitadas pelos clientes.

Essencialmente existem 3 necessidades que podem ser exigidas ao ME, nomeadamente:

- Diminuir a temperatura de operação
- Diminuir o ruído
- Aumentar a eficiência

Estas necessidades estão diretamente dependentes do ventilador que o ME está a usar.

Neste momento, aquando da verificação destas necessidades, a solução que a WEGeuro apresenta passa por alterar o ventilador, aumentando ou diminuindo o seu diâmetro.

No caso de se pretender diminuir a temperatura, recorre-se a um ventilador de dimensões superiores (uma vez que não é possível alterar a velocidade de rotação do ME). Como consequência ocorre um aumento do caudal, do ruído e das perdas mecânicas o que provoca uma redução da eficiência do ME.

Nos casos em que se pretende diminuir o ruído do ME e/ou aumentar a sua eficiência é utilizado um ventilador de dimensões inferiores. No entanto, o caudal e as perdas mecânicas diminuem.

Após a troca do ventilador, o conjunto *motor + ventilador* são ensaiados em laboratório, tendo como objetivo verificar se o parâmetro/necessidade que se pretende corrigir já se encontra dentro de limites aceitáveis, assim como todos os restantes.

Caso isto não ocorra, ou seja, algum parâmetro ainda não esteja dentro de valores aceitáveis, é necessário trocar novamente de ventilador e efetuar novos ensaios. De referir que os ensaios laborais são demorados uma vez que exigem a necessidade de estabilização térmica dos MEs e que por vezes podem demorar algumas horas (considera-se que estabilização térmica ocorre quando a temperatura dos enrolamentos do motor variam menos de 2 K/h).

A alteração do ventilador é uma incógnita uma vez que não se tem conhecimento prévio da sua influência face a todos parâmetros do ME. Por este motivo, considera-se vantajoso ter conhecimento de quanto a alteração do ventilador influencia os parâmetros já referidos, pois pode satisfazer uns e outros não. Por outro lado, permitiria também uma redução dos ensaios laboratoriais visto que o ideal seria a realização dos ensaios laboratoriais apenas em motores em fase de expedição de modo a verificar que todos os parâmetros estão dentro das conformidades.

Desta forma existe uma potencialidade de melhoria que consiste em criar mapas de ventilação de modo a tornar previsível o comportamento dos ventiladores para cada gama, carcaça e polaridade evitando assim a necessidade de efetuar ensaios laboratoriais sempre que se utilizam ventiladores não-padrão. Assim seria possível definir outros ventiladores como opcionais de forma a atender aos diferentes requisitos de temperatura, ruído e eficiência.

Este trabalho seria uma mais-valia pois permitiria uma rápida e eficaz atuação por parte das equipas de ofertas e de projeto na escolha dos ventiladores.

Por outro lado, a utilização de ventiladores que recorrem a diversos materiais na sua constituição obriga ao uso de processos de ligação como construção soldada o que, por sua vez, tem um peso significativo no seu custo devido à mão-de-obra que é necessária. Deste modo, é detetada uma nova potencialidade de melhoria que consiste em utilizar ventiladores que recorrem a materiais e processos de fabrico menos dispendiosos como é o caso do ferro fundido.

Em acrescento, detetou-se outra possibilidade de melhoria. Atualmente na WEGeuro os motores com 2 polos utilizam frequentemente ventiladores axiais que, por sua vez, apresentam consequências negativas, mais precisamente elevados custos de produção devido às suas geometrias complexas e também pelo facto de necessitarem de uma maior dimensão para satisfazer os mesmos níveis de ventilação.

Assim sendo, é recomendável que se recorra (sempre que possível) a ventiladores radiais, uma vez que o seu preço de produção é mais reduzido, devido às geometrias menos complexas e também pelo facto de estes necessitarem de dimensões muito menores para igualar as prestações dos ventiladores axiais. Em suma, o recurso a ventiladores radiais permite:

- Redução de mão-de-obra;
- Redução de material;
- Redução peso de ventilador;
- Redução peso de motor;
- Redução do custo do ventilador;
- Redução do custo final do motor;

Contudo, como acontece com qualquer mudança, são detetados pontos a favor e contra, pelo que, esta melhoria não é exceção. Sendo assim, a consequência negativa detetada é a questão do ruído, pelo que, a utilização de ventiladores axiais não pode ficar excluída em determinadas situações.

### 3.1.2. Metodologia

Para atingir o objetivo acima referido, foi necessário recorrer a diversos métodos. Assim sendo, inicialmente recorreu-se à análise documental/análise de conteúdo que permitiu esclarecer conceitos base neste tópico, assim como, compreender a necessidade da eficiência para as entidades. Ainda neste método, analisou-se os relatórios de ensaios laboratoriais já realizados na WEGeuro, que serviram como ponto de partida. Contudo grande parte deles estavam incompletos, por falta de alguns parâmetros. Por este motivo apenas se recolheram os dados dos ensaios que continham toda a informação.

Por outro lado, recorreu-se também ao método empírico, de forma a compreender a perspetiva de alguns dos intervenientes da organização e compreender os procedimentos para a realização dos ensaios laboratoriais da entidade. Devido às limitações de alternativas para solucionar as necessidades que são exigidas aos MEs, foram realizados ensaios laboratoriais de ventiladores selecionados estrategicamente

para diferentes polaridades e frequências, tendo em atenção que a WEG pretende padronizar a ventilação para as gamas: W22Xd, W50 e HGF, que variam quer nas carcaças, como nas polaridades e nas frequências de operação. As possibilidades são as seguintes:

#### Polaridades:

- 2P;
- 4P;

#### Frequências:

- 50Hz;
- 60Hz

Tendo em conta os dois parâmetros acima mencionados (Polaridade e Frequência), a sua junção influencia a rotação do motor, podendo a mesma ser calculada através da seguinte função:

$$n(\text{rpm}) = \frac{f \times 60}{\frac{\text{polaridade}}{2}}$$

Com base na função anterior é possível obter os resultados da Tabela 7.

Tabela 7 - Variação da rotação do ME com a polaridade e frequência

Número de Polos	n (50 Hz)	n (60 Hz)
	[rpm]	[rpm]
2	3000	3600
4	1500	1800

#### 3.1.3. Descrição

Inicialmente foi fundamental compreender o que os intervenientes da organização consideravam sobre este processo. Assim sendo, através de entrevistas informais verificou-se que o método utilizado atualmente não estava otimizado, pelo que o desafio consistia em desenvolver mapas de ventilação para cada gama de motor (W50, HGF e W22X), nas diferentes carcaças, nas diferentes polaridades (2 e 4 polos) e nas diferentes frequências (50 e 60 Hz) de forma a tornar previsível o comportamento de cada ventilador nos respetivos motores.

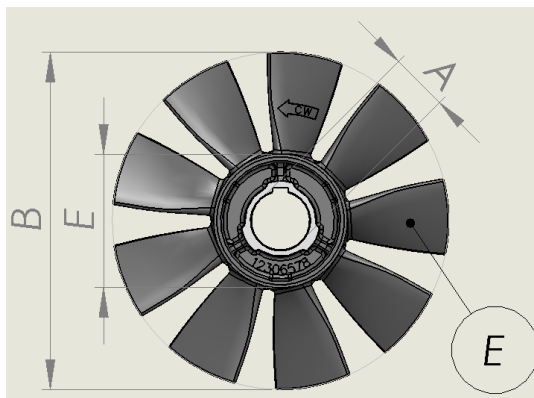
Desta forma, com base nesta análise empírica (do que já existia na empresa e percepções de melhoria) e análise teórica realizada anteriormente, iniciou-se o estudo da ventilação nos motores da WEGeuro.

Primeiro, realizou-se um levantamento de todos os ventiladores em *stock* para os motores W50, HGF e W22X, contemplando um total de cerca de 100 ventiladores (ANEXO 2 - Ventiladores existentes WEGeuro).

Após o levantamento de todos os ventiladores identificaram-se e registaram-se as principais características de cada um deles (ver Figura 19), mais precisamente:

- Material;
- Tipo (axial/radial);
- Diâmetro interno do cubo do ventilador;
- Diâmetro externo;
- Diâmetro interno;
- Número de pás;
- Área de arrasto;
- Largura.

**Ventilador axial**



**Ventilador radial**

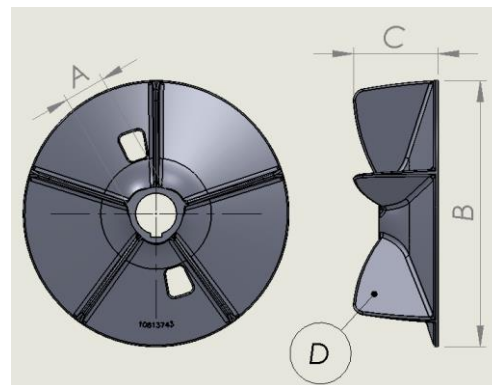


Figura 19 - Características alvo de estudo nos ventiladores

**Legenda:**

A - Diâmetro interno do cubo

B – Diâmetro externo do ventilador

C – Largura do Ventilador

D – Número de pás / Área de arrasto por pás

E – Diâmetro interno do ventilador

O levantamento de todas estas características teve como objetivo verificar a influência que cada uma poderá ter na ventilação e assim poder retirar conclusões.

Dos 100 ventiladores, selecionaram-se apenas os que eram produzidos por fundição em Ferro Fundido (FC-200), uma vez que o seu custo de produção é bastante inferior aos restantes. Desta forma obteve-se um total de 24 ventiladores, 18 radiais e 6 axiais.

De seguida, foi criado numa folha de cálculo (ANEXO 3 – Ensaios dos Ventiladores) para cada gama de motor, nomeadamente (W50, HGF e W22X), onde foram inseridas as carcaças existentes em cada gama. Cada carcaça poderia ainda estar associada a motores de 2 e 4 polos e que podiam ser ensaiados com determinados ventiladores nas frequências de 50 e 60 Hz (tal como se pode verificar na imagem seguinte):

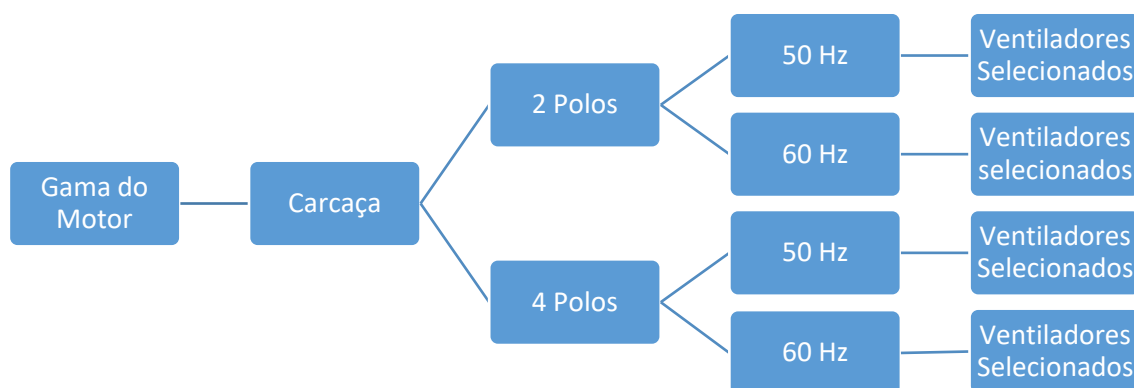


Figura 20 - Síntese dos Ensaios Realizados

Assim, para cada carcaça, selecionaram-se estrategicamente alguns dos ventiladores em Ferro Fundido em que, para além do ventilador padrão, foram escolhidos outros de dimensões inferiores/superiores e, em situações particulares (motores de 2 polos), ventiladores de diferentes tipos (axial/radial).

A estratégia na seleção dos ventiladores foi a seguinte:

Nos motores de 2 polos, tal como mencionado anteriormente, foi considerado o uso de ventiladores axiais, pelo facto de produzirem menos ruído em velocidades de rotação elevadas. Nestes casos, dependendo se estão a funcionar com uma frequência de 50/60 Hz, atingem velocidades de 3000/3600 rpm respetivamente. Assim sendo, para cada carcaça, selecionou-se o seu ventilador padrão e todos os ventiladores axiais da gama (com dimensões compatíveis com o defletor de ar da TD em questão). Contudo, para colmatar possíveis problemas de refrigeração dos ME, considerou-se também o uso de

ventiladores radiais de menores dimensões (em Ferro Fundido), uma vez que os ventiladores axiais não são tão eficientes quanto os radiais. Ao recorrer a ventiladores radiais de menor dimensão permitirá reduzir níveis de ruído indesejados.

Neste sentido, apenas em casos em que é definido um único sentido de rotação para o ME e que se destinam à ventilação de motores de 2 polos, podem ser considerados o uso de ventiladores axiais.

Tal como se pode verificar no ANEXO 4 - Ventiladores radiais em ferro fundido existentes na WEGeuro, de 18 ventiladores radiais em ferro fundido, foram selecionados os 6 de menor dimensão tendo o mais pequeno uma dimensão de 194x81mm e o maior 335x93mm.

Descrição Ventilador
225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22
315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22
315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22
355 AB 2P W22
225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22
280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22
315 4P W50
355 4P W50
315 4P HGF
315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22
400 4P W50
315 6P / 8P W50
355 6P+ / 400 4P HGF
355 6P / 400 6P / 450 4P W50
400 6P+ W22X , 315 ML / 355 AB 6-8P W22
355 8P / 400 8P / 450 6P / 450 8P W50
450 6P+ HGF
400 8P+ HGF

Figura 21 - Ventiladores Radiais em ferro fundido de menor dimensão selecionados para os motores de 2 Polos

De forma a facilitar a compreensão do conteúdo abordado anteriormente, segue um exemplo real da seleção de ventiladores para a gama W50, com a carcaça 450 J/H, com 2 polos e frequência 50 Hz.

W50	450 J/H	2	50	E	Sem Ventilador		
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL
				E	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL
				E	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL
				P	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO
				P	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO
				O	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO
				O	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO
				O	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO
				O	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO

Figura 22 - Exemplo real da Seleção de Ventiladores para o W50 450 J/H 2P 50 Hz

#### Legenda:

- E – Ventiladores Especiais de outra Gama;
- P – Ventilador Padrão (atualmente, selecionado a azul);
- O – Ventilador Opcional, da mesma Gama;

A finalidade do documento em Excel (ANEXO 3 – Ensaio dos Ventiladores) passa por registar as evidências dos ensaios laboratoriais dos ME, mais precisamente efetuar o registo dos valores dos ME ao usarem determinados ventiladores, permitindo assim refletir sobre os mesmos e retirar conclusões. Desta forma, foram registados valores de ruído, caudal, potência em vazio, assim como a temperatura do ME (perdas internas ponderadas).

Por outro lado, para a polaridade 4, apenas foram selecionados ventiladores radiais de pás retas. Neste caso, o uso de ventiladores axiais não é justificável, visto que, as velocidades de rotação são muito menores pelo que permite com o recurso aos ventiladores radiais cumprir os requisitos a nível do ruído, tendo a vantagem de estes permitirem insuflar mais caudal para dimensões inferiores. Desta forma, o uso de ventiladores radiais nestas polaridades é uma excelente alternativa, uma vez que, apresentam melhores prestações tanto a nível de rendimento como de caudal insuflado. Portanto, nestas polaridades para além dos ventiladores padrão foram selecionados alguns ventiladores radiais com o diâmetro exterior imediatamente superior ou inferior ao ventilador padrão.

Em suma, para diminuir a temperatura de operação do ME, uma vez que não é possível alterar a velocidade de rotação, é necessário aumentar o diâmetro do ventilador, de forma a aumentar o caudal insuflado. Em contrapartida o ruído aumenta, as perdas mecânicas (por atrito) também aumentam, tendo como consequência uma redução da eficiência.

Por outro lado, para diminuir o ruído e aumentar a eficiência realiza-se o processo inverso, ou seja, no geral deve-se diminuir o diâmetro do ventilador, reduzindo as perdas mecânicas (por atrito), no entanto o ventilador não conseguirá dissipar a mesma quantidade de calor.

Para medir o ruído utilizou-se o equipamento presente na Figura 23.



Figura 23 - Sonómetro Larson Davis SoundTrack LxT1

O ruído foi medido à tensão e frequência nominal do ME em quatro locais distintos, no lado de ataque – LA, no lado oposto ao ataque – LOA, no lado direito – LD e no lado esquerdo – LE. Este foi medido com o aparelho de medição afastado um metro das posições anteriormente referidas (ver Figura 24).

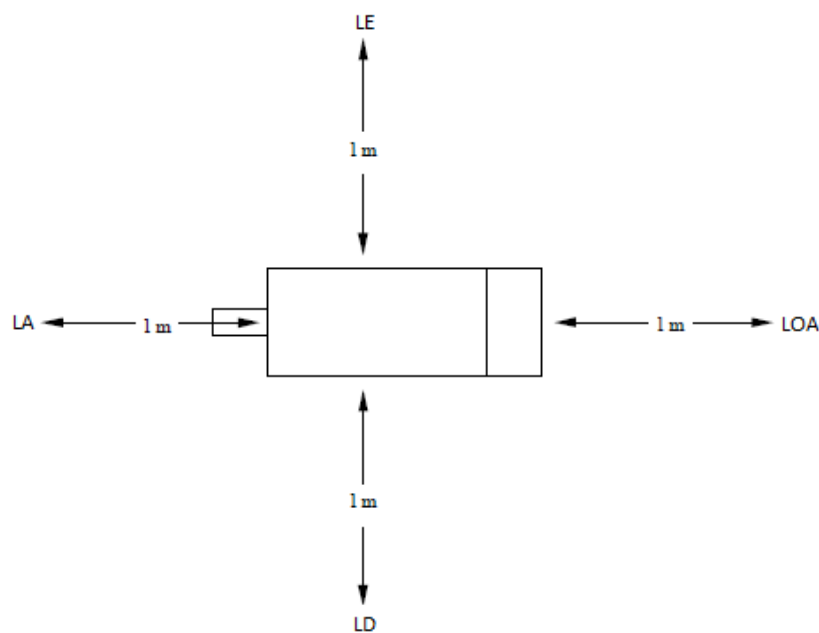


Figura 24 - Pontos de medição do ruído no ME

Para além disso foi medido o ruído fabril de modo a obter um valor mais exato do ruído do motor. Assim, através do cálculo do ruído global, através da equação ( 1) e com a correção da equação ( 2) é possível obter o ruído do ME com maior exatidão.

Na Figura 25 é possível observar a medição do Ruído no lado oposto ao ataque – LOA com o aparelho de medida afastado um metro do ME.

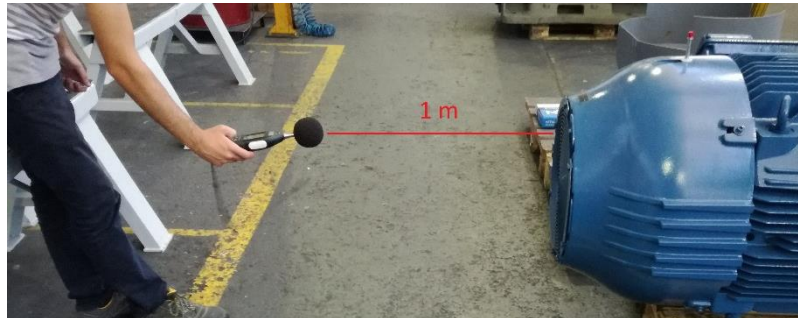


Figura 25 - Medição do ruído no ME

Para medir velocidade do ar utilizou-se o equipamento presente na Figura 26.



Figura 26 - Anemómetro de hélice (Testo 416)



Figura 27 - Pormenor da hélice do anemómetro

Deste modo é possível quantificar os ganhos/perdas na ventilação com a troca dos ventiladores através da medição da velocidade do ar nos locais indicados na Figura 28, num total de 28 medições.

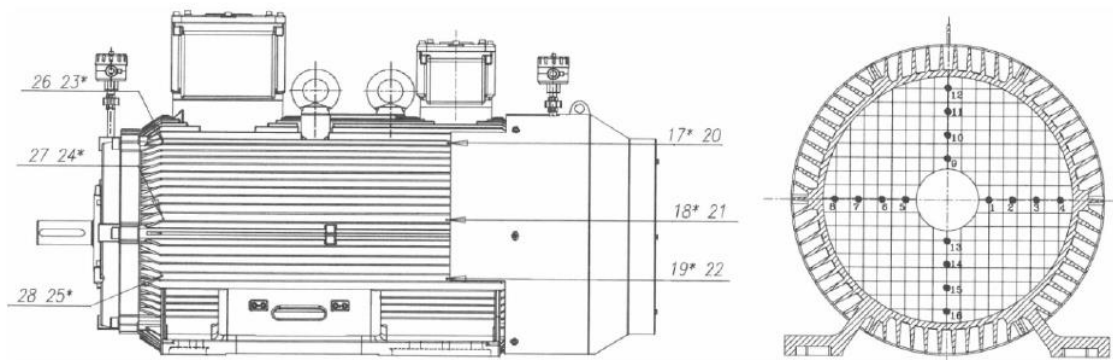


Figura 28 - Pontos de medição da velocidade do ar

Na Figura 29 é possível observar a medição da velocidade do ar num local específico, mais precisamente no Ponto 1.

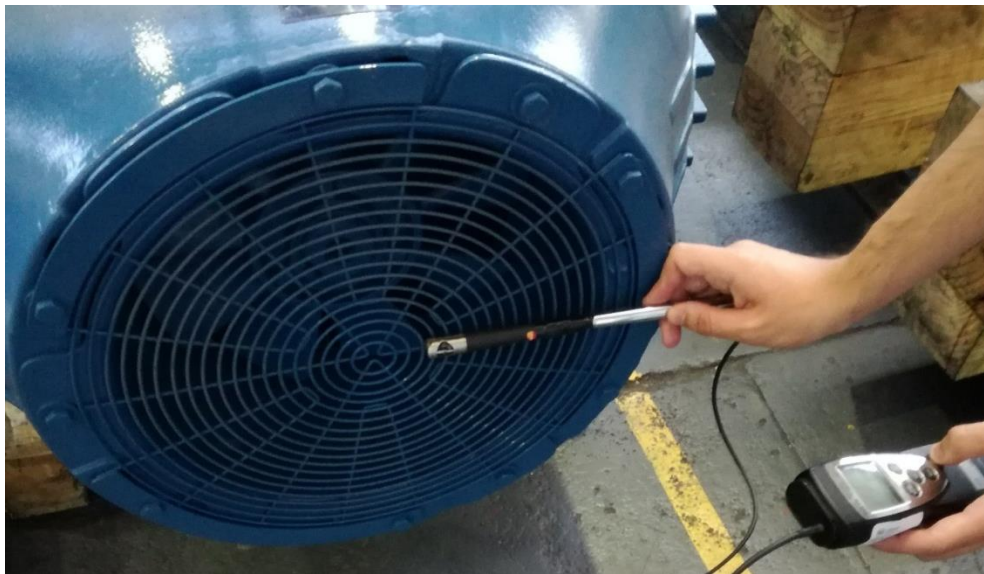


Figura 29 - Medição de Caudal (Ponto 1)

### 3.1.4. Resultados

Através da realização dos ensaios laboratoriais e da recolha da informação dos relatórios de ensaios já realizados (e completos) foi possível recolher um número significativo de amostras, sendo que para o Motor W50 se obteve informação do comportamento de 22 ventiladores, no Motor HGF de 11 ventiladores e no Motor W22Xd de 41 ventiladores.

Desta forma, foi possível obter no total o comportamento de 74 ventiladores nos respetivos motores para que no futuro, caso o ventilador padrão ou ventilador selecionado não satisfaça alguma necessidade, seja possível consultar a base de dados de resultados produzida nesta tese para se obter conhecimento prévio do comportamento do ventilador no respetivo motor.

Na Figura 30 é possível observar um excerto da folha de cálculo produzida para o motor W50 355 J/H de 2P a 50 Hz, esta tem uma disposição um pouco diferente da original uma vez que apenas são representadas as informações relevantes para explicar este exemplo.

Gama	Carcaça	Nr. Polos	Freq. [Hz]	Nr. Ventilador	Tipo	Dext [mm]	Largura [mm]	Dcubo [mm]	Nr. Penas	Área de arrasto por pena [mm <sup>2</sup> ]	Área de arrasto total [mm <sup>2</sup> ]	Ruído Motor [dB]	Caudal [m/s]	P0 motor [W]
W50	355 J/H	2	50	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				1	Radial	335	93	-	5	5865,8	29329	92,38	20,14	8333
				2	Radial	295	114	-	5	7085,9	35429,5	-	-	-
				3	Radial	265	102	-	5	5106,7	25533,5	83,89	13,8	6798
				4	Radial	234	89	-	5	3381	16905	80,51	10,13	6285
				5	Radial	225	82	-	5	2521,9	12609,5	-	-	-
				6	Radial	194	81	-	5	2117	10585	-	-	-
				7	Axial anti-horário	352	-	148	9	-	-	87,02	15,18	4895
				8	Axial horário	352	-	148	9	-	-	83,23	14,89	4931
				9	Axial anti-horário	315	-	148	9	-	-	-	-	-
10	Axial horário	315	-	148	9	-	-	-	-	-				

Figura 30 - Quadro resumo dos ventiladores ensaiados para o Motor W50 355 J/H 2P a 50 Hz

Nesta tabela pode-se observar quais os ventiladores que foram selecionados estrategicamente, assim como, as principais características dos mesmos. Sendo que dos 10 ventiladores selecionados, 5 foram ensaiados (Ver Figura 30 a verde). Dos 5 ventiladores, 2 eram axiais e correspondiam ao ventilador padrão, os restantes três eram alternativas aos ventiladores padrão e eram do tipo radial.

Para os diferentes ventiladores ensaiados foram retirados os valores de Ruído, Caudal e Potência em vazio ( $P_0$ ) (Ver Figura 30). É sabido que quanto menor for a potência em vazio do ME melhor rendimento o motor apresenta, uma vez que, a potência em vazio engloba as perdas mecânicas, em grande parte provenientes do ventilador, e as perdas suplementares.

Para uma melhor visualização e perceção dos resultados obtidos com a troca de ventilador neste motor, foram realizados alguns gráficos. Desta forma, é possível observar mais facilmente a reação do ME com a troca dos ventiladores.

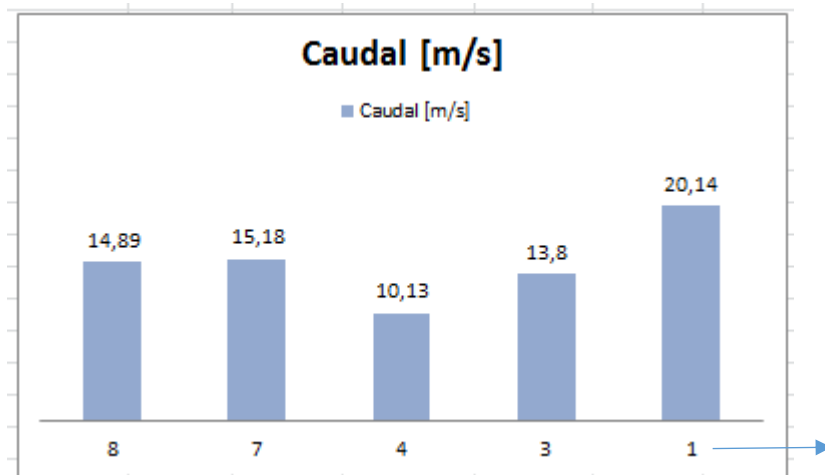


Gráfico 1 - Caudal obtido com os diferentes ventiladores para o W50 355 J/H 2P a 50 Hz

Número do Ventilador de acordo com a Figura 28

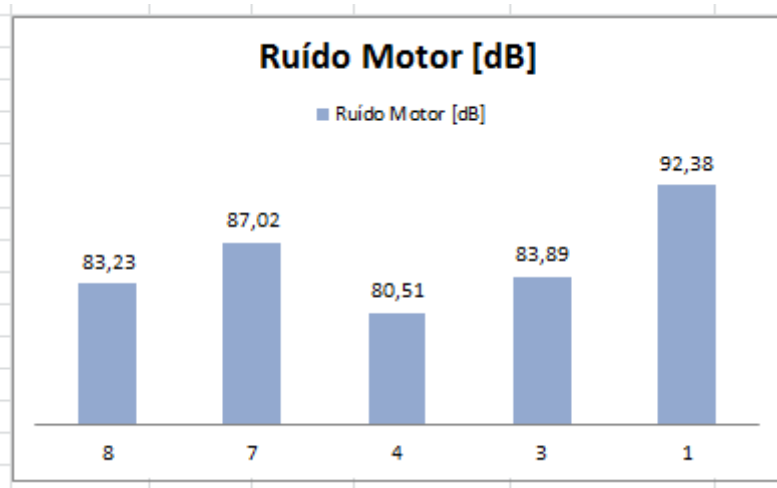


Gráfico 2 - Ruído obtido com os diferentes ventiladores para o W50 355 J/H 2P a 50 Hz

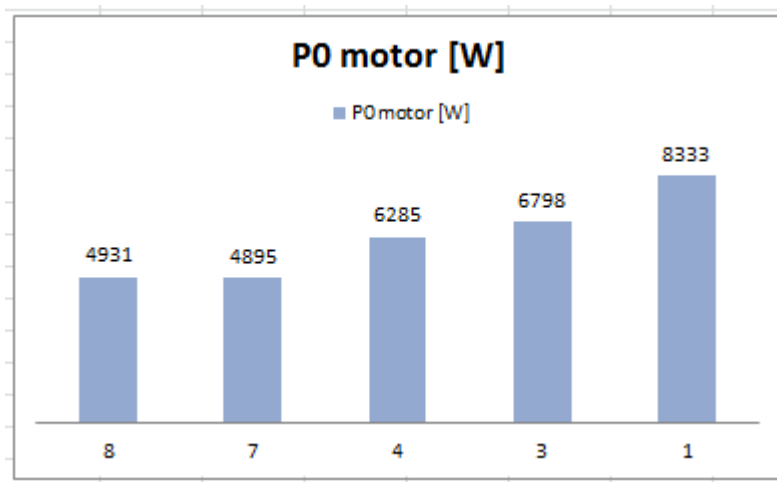


Gráfico 3 - PO obtido com os diferentes ventiladores para o W50 355 J/H 2P a 50 Hz

Da análise aos gráficos anteriores, pode-se observar um comportamento completamente diferente do ME ao recorrer aos ventiladores radiais em relação aos axiais com dimensões semelhantes. Comparando o ventilador 1 com os ventiladores 8 e 7, uma vez que são os que têm dimensões mais próximas, é possível verificar que o radial 1 permite insuflar muito mais caudal do que os ventiladores axiais 8 e 7. Contudo, os axiais 8 e 7 apresentam melhores prestações ao nível do ruído e potência em vazio no ME.

A potência em vazio engloba as perdas mecânicas provenientes, em grande parte, do ventilador. Portanto, quando se compara o mesmo motor apenas trocando o ventilador, é possível calcular a diferença percentual entre as duas situações e assim verificar a influência do ventilador no desempenho do motor. Por exemplo, a utilização do ventilador 1 traduz-se numa perda de aproximadamente 69% em relação ao ventilador 8.

Neste caso em concreto, se os ventiladores padrão 7 e 8 não permitissem um arrefecimento adequado do ME e fosse necessário aumentar o mesmo, poderíamos recorrer ao ventilador 1 (caso as perdas e o ruído estivessem dentro dos valores exigidos pelo cliente). O ventilador 2 também poderia ser uma alternativa válida, contudo, o ensaio deste ventilador para este motor ainda não foi realizado pelo que o seu comportamento é uma incógnita.

Nesta situação, se fosse pretendido diminuir o ruído relativamente aos ventiladores padrão 8 e 7, uma opção válida era o ventilador radial 4, isto se os restantes parâmetros estivessem dentro dos limites estipulados.

Caso seja pretendido diminuir as perdas do ME, ou seja, para diminuir a potência em vazio, deve-se ter em consideração os ventiladores axiais 8 e 7 ou então os radiais de menores dimensões, pelo que era importante também saber o comportamento dos ventiladores 5 e 6.

Este trabalho de registo do comportamento do ventilador em cada motor, tal como é possível verificar, é de extrema importância pelo que, quanto mais informação for recolhida ao longo do tempo mais facilidade as equipas de projeto têm em selecionar os ventiladores.

Em suma, com esta recolha de informação torna-se mais fácil obter, desde o início do projeto, soluções equilibradas através da redefinição dos ventiladores padrão.

Para um mais fácil entendimento segue um exemplo real. É possível verificar que o ventilador 3 (radial) tem prestações muito idênticas, a nível de caudal e ruído, aos ventiladores axiais padrão (ventilador 8 e 7). Este poderia ser uma alternativa a ter em conta neste motor, uma vez que, o seu preço é inferior. Enquanto os ventiladores

padrão axiais (ventiladores 7 e 8) custam cerca de 75.85 €, o ventilador 3 (radial) custa apenas 22.24 €. Assim sendo, como se verifica é possível detetar uma redução de custo notória devido ao trabalho prévio em atribuir prioridade aos ventiladores de ferro fundido, uma vez que o seu custo é menor.

Esta é apenas uma sugestão para definir um novo ventilador padrão, que permitiria manter as prestações do mesmo com uma grande redução de custo. Aplicando esta metodologia a todas as carcaças é possível reduzir significativamente o custo dos ventiladores e consequentemente dos MEs.

### 3.1.5. Discussão

Finalizada a primeira etapa – Motores e seus Ventiladores, verificaram-se melhorias significativas no dia-a-dia desta entidade. Contudo, efetivamente é um trabalho de longo prazo e que requer uma melhoria contínua.

A folha de cálculo da base de dados estava preparada para a realização de 253 ensaios para o motor W50, de 319 ensaios para o motor HGF e 317 ensaios para o motor W22Xd WPT. Portanto, no total estava preparada para a realização de 889 ensaios.

A realização de todos estes ensaios durante um período de tempo tão curto torna-se uma tarefa difícil. Os principais motivos da impossibilidade da realização de todos os ensaios foram:

- Indisponibilidade imediata de todos os motores (uma vez que muitos deles nem chegam a ser produzidos no período de estágio);
- Inexistência em *stock* de todos ventiladores;
- Indisponibilidade do laboratório;
- Elevado número de ensaios propostos.

Não obstante, foi possível obter o comportamento de 74 ventiladores nos respetivos motores. Estes dados, permitem que no futuro quando o ventilador padrão não satisfaça alguma necessidade e se pretenda outra alternativa, seja mais simples encontrar uma solução compatível, uma vez que, já existe o conhecimento prévio do comportamento do ventilador no respetivo motor.

Assim sendo, verifica-se de imediato as vantagens que esta recolha prévia traz para o dia-a-dia de uma organização, uma vez que, torna possível conjugar com mais eficácia a redução de custo em simultâneo com uma ótima prestação (excelentes propriedades) de ventilação.

Apesar desta “Base de dados”, ainda não se encontrar completa, é possível consultar já alternativas mais apelativas, assim como as mais viáveis de se utilizar. Mas, para que

assim fosse possível, para além dos ensaios realizados, houve um grande trabalho prévio na recolha de informação.

Em suma, analisando esta etapa do trabalho é possível ponderar sobre as diversas vantagens que estas alterações trouxeram para a entidade acolhedora de estágio:

---

#### Vantagens

---

Rápida seleção de alternativas para ventiladores;

Rápida consulta das propriedades dos ventiladores;

Rápida associação ao programa SAP;

Redução de custos através de alternativas em ferro fundido ou ventiladores radiais;

Definição de novos ventiladores padrão;

Previsão do comportamento dos ventiladores;

Rentabilização do tempo dos recursos humanos afetos ao projeto;

Redução da mão-de-obra devido a alternativas de ventilação em ferro fundido.

---

As vantagens para a entidade acima elencadas serão exponenciadas com o término dos ensaios propostos, uma vez que, permitirá uma maior eficácia na seleção dos ventiladores, facilitando as tomadas de decisão. Após a realização dos ensaios, será possível alargar este estudo para outros componentes, tal como, determinar a influência de alguns parâmetros no comportamento do ventilador, como por exemplo, a influência do número de pás, área de arrasto, largura e diâmetro externo.

### 3.2. Implementação industrial de nova tampa defletora em ferro fundido para a gama W22Xd (WPT)

Neste subtópico do capítulo Desenvolvimento pretende-se atingir o objetivo **Implementação Industrial de nova TD em ferro fundido para a gama W22xd (WPT)**.

#### 3.2.1. Contextualização

A WEGeuro, sediada em Portugal, produz essencialmente motores para áreas de atividade especializadas tais como aplicações em atmosferas explosivas. A gama de motores W22X é um exemplo de um motor fabricado para este tipo de exigências.

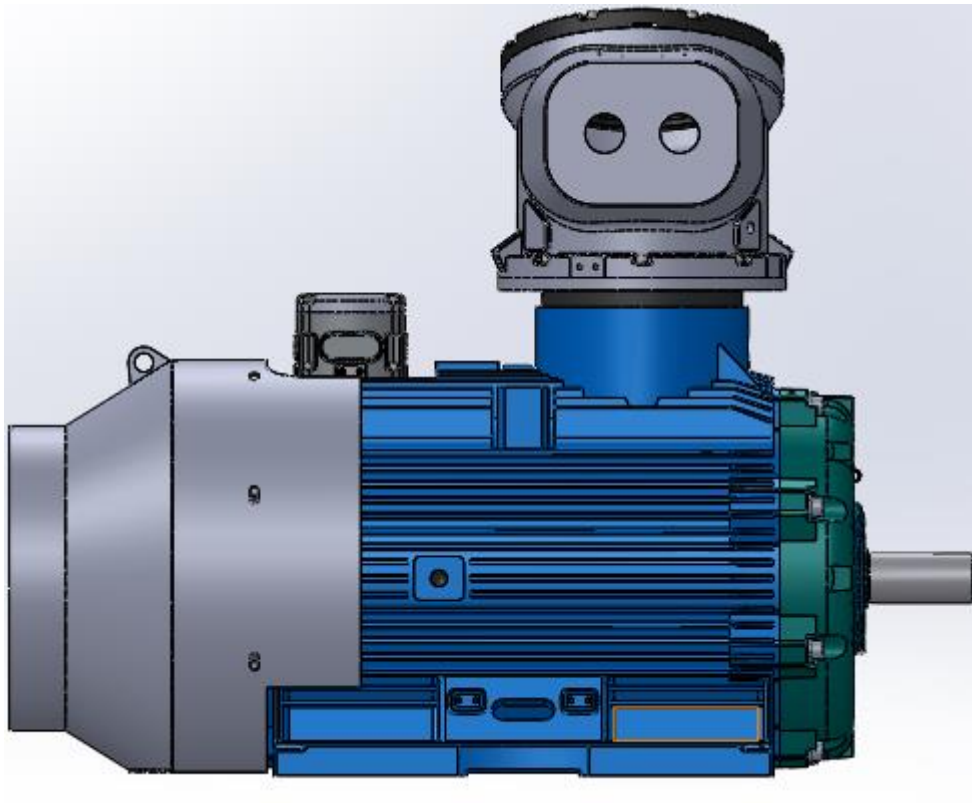


Figura 31 - Motor W22Xd 315L 4P+

Com vista a melhorar a sua competitividade, os motores da WEG são constantemente alvo de estudos e de melhorias. Como tal, surgiu a necessidade de melhorar um dos seus constituintes, a TD, visto que foi identificado espaço para aumento de desempenho.

Deste modo, ao longo desta etapa do presente trabalho, será descrito o processo evolutivo do estudo e desenvolvimento de uma nova TD para a gama W22Xd. Para facilitar a nomenclatura das TDs consideradas para esta gama, estas foram designadas da seguinte forma (ver Figura 32):

A - TD Padrão

B - TD 2014

C - TD 2018

D - TD WMO

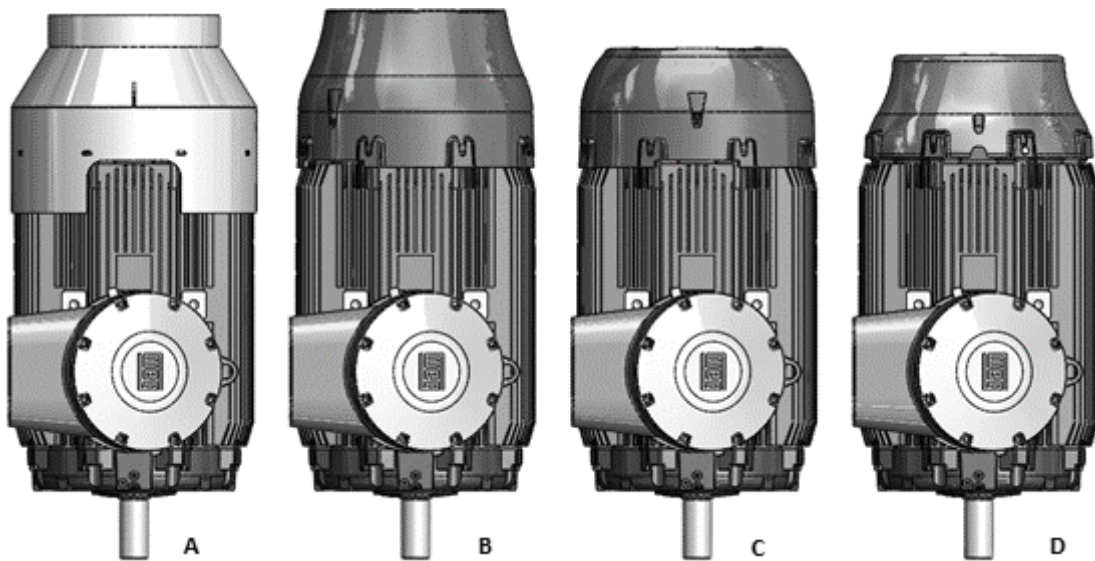


Figura 32 - Representação prévia das hipóteses de TDs para o W22Xd

Na imagem que se segue (Figura 33) é possível observar a TD Padrão da gama W22Xd (WPT), assim como, verificar as principais características associadas à mesma (Tabela 8):

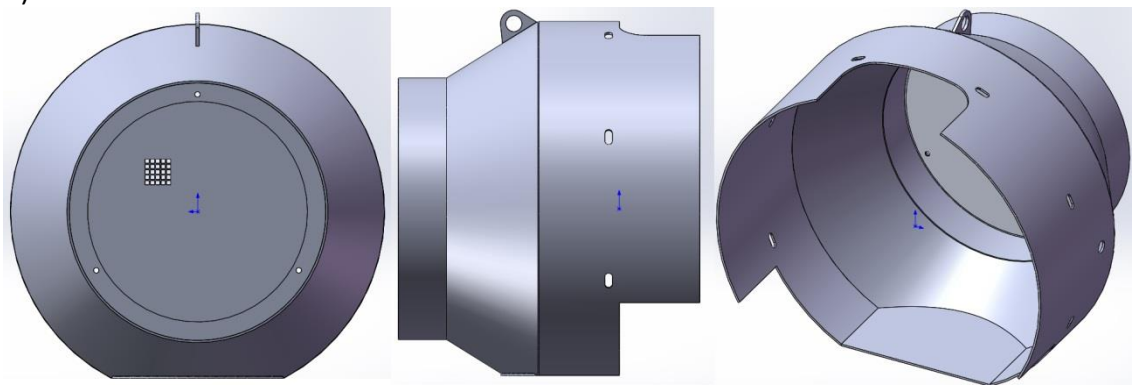


Figura 33 – TD Padrão

**Nota:** Na Figura 33 apenas é ilustrado uma porção da rede da TD com o objetivo de não sobrecarregar o modelo 3D.

Tabela 8 - Características TD Padrão

<b>Características TD Padrão</b>	
Preço	238.21 €
Peso	35.09 Kg
Cota R	392.1 mm
Material	Aço (AISI 1020)
Processos de Fabrico	Construção Soldada

Em 2014, no âmbito ainda desta questão, na WEGeuro foi realizada uma dissertação com o objetivo de colmatar as seguintes desvantagens da peça:

- Elevado Custo na produção da TD;
- Elevado tempo de produção e elevado número de operações de fabrico (uma vez que era produzida em construção soldada exigindo muitas operações intermédias e que inflacionavam o seu tempo de produção)
- Ausência de Imagem Padrão (para que através de pormenores visuais esta fosse facilmente reconhecida e associada à marca WEG, exemplo disto é a rede de ventilação da TD em que o aspeto “teia de aranha” já é comum a várias gamas)
- Elevado Ruído;

Desta forma, Leal (2014) desenvolveu uma nova TD (Figura 34) com as seguintes características (Tabela 9):

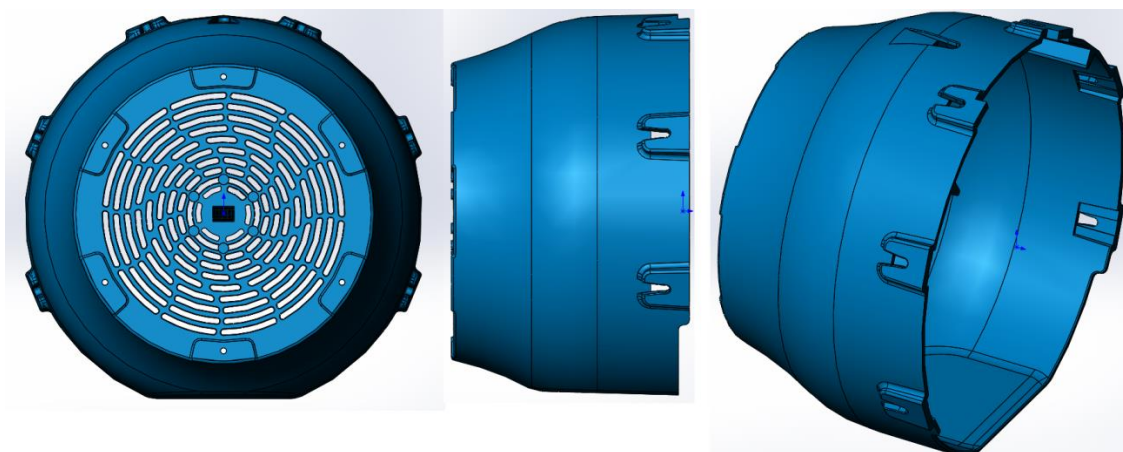


Figura 34 – TD 2014

Tabela 9 - Características TD 2014

<b>Características TD (2014)</b>	
Preço	110.23 €
Peso	64.03 Kg
Cota R	408 mm
Material	Ferro Fundido Cinzento (FC-200)
Processos de Fabrico	Fundição

As TD são produzidas no Brasil e é possível consultar o seu preço de produção. Assim, através do peso e do custo de uma TD, que utilize o mesmo processo de fabrico (fundição) e o mesmo material da nova proposta de TD (Ferro Fundido Cinzento (FC-200)), é possível fazer uma rápida estimativa de custo da TD que pretendemos fabricar.

É de referir que, o preço acima indicado não inclui o valor inicial dos moldes necessários para o fabrico da TD.

Com o desenvolvimento desta TD por Leal (2014), foram alcançadas as seguintes melhorias sem prejudicar o nível de arrefecimento da anterior TD:

- Menor Custo
- Facilidade de Montagem
- Redução do número de operações e tempo de fabrico
- Possuía um só corpo (Uni body)
- Aspetto visual padronizado assemelhando-se às restantes gamas
- Não são necessárias operações fabris para a utilização padrão de ventilação (IC411)
- Facilidade de armazenamento com a possibilidade de empilhamento

Contudo, esta TD também apresenta alguns aspetos negativos, comparativamente à TD Padrão, nomeadamente:

- Produção do molde e elevado custo associado;
- Maior peso e dimensões;

Como é possível verificar, existe uma discrepância entre o peso da TD padrão e da TD (2014). Enquanto a TD (2014) pesa cerca de 64.03 kg, a TD padrão pesa 35.09 Kg.

Contudo, continua a ser uma TD mais apelativa na produção na medida em que o seu custo é muito mais baixo, em cerca de 127.77 €.

Assim sendo, uma vez que esta TD ainda não se encontra em produção, o novo desafio passa por verificar possíveis melhorias, e desenvolver as mesmas, para que no final seja realizado o pedido de aprovação do molde na WEG WMO.

### 3.2.2. Metodologia

Para atingir o desafio anterior, recorreu-se a diversos métodos. Inicialmente fez-se uma análise documental de catálogos WEG, para assim perceber que tipos de ventilação existiam, que acessórios podiam estar acoplados à TD e observar as principais características que uma TD deve ter, entre outros aspetos. Recorreu-se também a estudos e teses de mestrado que tiveram como alvo de estudo as TD, onde foram observados efeitos que certas modificações causaram no comportamento do ME.

De seguida recorreu-se ao método empírico, de forma a compreender a perspetiva de alguns dos intervenientes da organização e perceber as atuais necessidades de tal mudança.

Em suma, os métodos acima mencionados (análise documental e análise empírica) permitiram detetar as eventuais potencialidades de melhoria tornando possível o desenvolvimento de um projeto referente à TD e verificar posteriormente o seu desempenho na prática através de ensaios laboratoriais.

### 3.2.3. Descrição

#### 3.2.3.1. *Desenvolvimento de nova TD (TD 2018):*

Inicialmente foi fundamental compreender o que os intervenientes da organização consideravam sobre este processo. Assim sendo, através de entrevistas informais verificou-se para além da proposta já realizada anteriormente que era possível desenvolver novas ideias com objetivo de diminuir custos. Desta forma, com base nesta análise empírica (o que já existia na empresa e perceções de melhoria) e análise teórica realizada anteriormente, iniciou-se o desenvolvimento de uma nova proposta da TD.

Desta forma, realizou-se um levantamento de todos os ventiladores (Figura 35) já utilizados nos motores W22Xd - 315 L e W22Xd – 315 SM de forma a assegurar que não houvesse problemas de sobreposição com a TD 2014, caso alguns destes ventiladores sejam utilizados no futuro.

### Descrição do componente

VENTILADOR RAD BID EXT AISI 316 420x134 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 315 AL 420x134 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 315 FC-200 420x134 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 280 FC-200 335x93 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 225 FC-200 295x114 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT AISI 316 234x89 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 355 AL 234x89 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 315 FC-200 234x89 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 280 FC-200 225x82 mm  
VENTILADOR RAD BID EXT 225 FC-200 194x81 mm

Figura 35 - Lista de Ventiladores utilizados no W22Xd - 315 L / 315 SM

Deste modo, verificou-se que, desde a implementação do SAP na WEGeuro (Novembro de 2014), foram usados 10 ventiladores diferentes. Existem dois ventiladores padrão, o de 234x89mm (utilizado nos motores de 2 Polos) e o de 420x134mm (utilizado nos motores de 4,6,8 Polos). Cada ventilador padrão tem uma variante de 3 materiais perfazendo um total de 6 ventiladores. Os restantes 4 foram utilizados esporadicamente em ocasiões especiais, como por exemplo para diminuir o ruído ou aumentar o caudal, e estes correspondiam à dimensão: 335x93 mm, 295x114 mm, 225x82 mm e 194x81 mm).

Assim sendo, procedeu-se à montagem em *SolidWorks* do ventilador de maiores dimensões usado até ao momento (420x134 mm) com a TD 2014 e verificou-se que o mesmo foi acoplado sem dificuldades e sem sobreposições, tal como se pode observar na Figura 36:

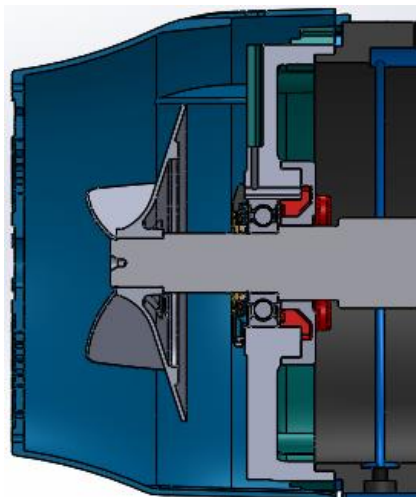


Figura 36 - Verificação de sobreposições dos Ventiladores na TD 2014

Após a verificação de que o ventilador de maiores dimensões era acoplado sem impedimentos, o passo seguinte consistiu em diminuir o comprimento da TD (sem comprometer a pior situação de ventilação).

## Modificações efetuadas

### Diminuição do comprimento da TD 2014 (Cota F e H)

Numa primeira fase, através de entrevista informal, foi realçado que era pretendido reduzir a TD 2014 sem modificar outros componentes do ME. Desta forma, diminui-se apenas a **cota F**, uma vez que era a única possível de alterar sem modificar o ME (ver Figura 37).

Para isso comparou-se a **cota F** da TD 2014 com as de outras gamas de motores, já que estas tinham sofrido estudos a esse nível, mais precisamente W22Xd (WMO), W22, W50 (Ver Tabela 10).

Tabela 10 - Cota F

315L 4 Polos	Cota F (mm)
W22Xd (WPT)	76
W22Xd (WMO)	46
W22	83
<b>W50</b>	<b>41</b>

Assim sendo, utilizou-se o ventilador com maior **cota O**, ventilador padrão 420x134 mm (4,6,8 Polos) em que a mesma era de 103 mm (ver Tabela 11). Com este ventilador diminuiu-se a distância F de 82 mm para 41 mm uma vez que era a distância mais baixa utilizada pelos motores que foram alvo de estudo, mais precisamente no motor W50 (Ver Tabela 10).

Tabela 11 - Cota O dos Ventiladores

Ventiladores	Cota O (mm)
<b>420x134 mm</b>	<b>103</b>
335x93 mm	69
295x114 mm	82
234x89 mm	79.5
225x82 mm	63
194x81 mm	73.5

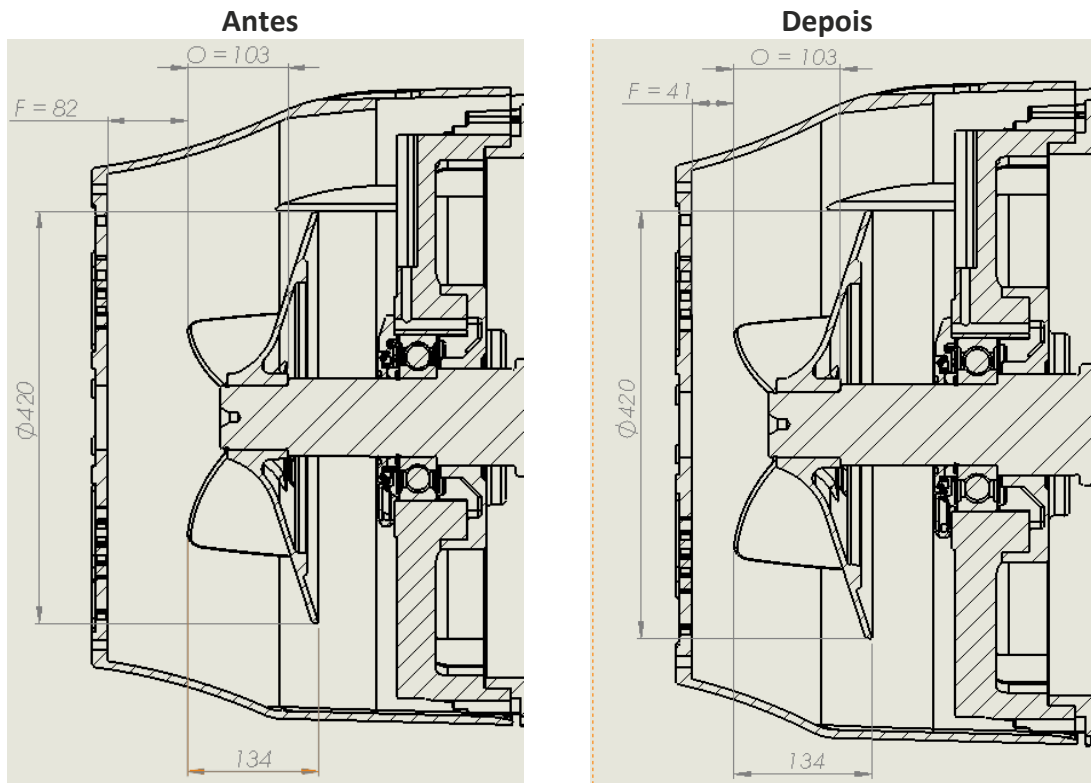


Figura 37 - Redução da cota F

Tal como é possível observar na Figura 37 esta modificação permitiu uma redução de 41 mm no comprimento da TD.

De seguida, de forma a conseguir reduzir mais o comprimento da TD 2014, foi solicitada e aprovada permissão para modificar outros componentes do ME.

Assim sendo, optou-se por diminuir o comprimento do veio, uma vez que, é maquinado nas instalações da WEGeuro da Maia, o que por sua vez, não requer grandes implicações a nível de custos.

Utilizou-se então, o ventilador com maior **cota P** (ventilador 295x114 mm) em que esta tinha 32 mm (Ver Tabela 12).

Tabela 12 - Cota P dos Ventiladores

Ventiladores	Cota P (mm)
420x134 mm	31
335x93 mm	24
<b>295x114 mm</b>	<b>32</b>
234x89 mm	9
225x82 mm	19
194x81 mm	7

Com este ventilador o objetivo consistiu em diminuir a **cota H** de 79 mm para 5 mm, uma vez que, era a distância mais baixa utilizada pelos motores que foram alvo de estudo mais precisamente no motor W22 (ver Tabela 13).

Tabela 13 - Cota H

315L 4 Polos	Cota H (mm)
W22Xd (WPT)	40
W22Xd (WMO)	55.5
<b>W22</b>	<b>5</b>
W50	57

Esta redução acentuada da TD 2014 gerou alguns erros na sua geometria. Deste modo, para contornar este problema reduziu-se a **cota H** apenas para 12 mm (Ver Figura 38).

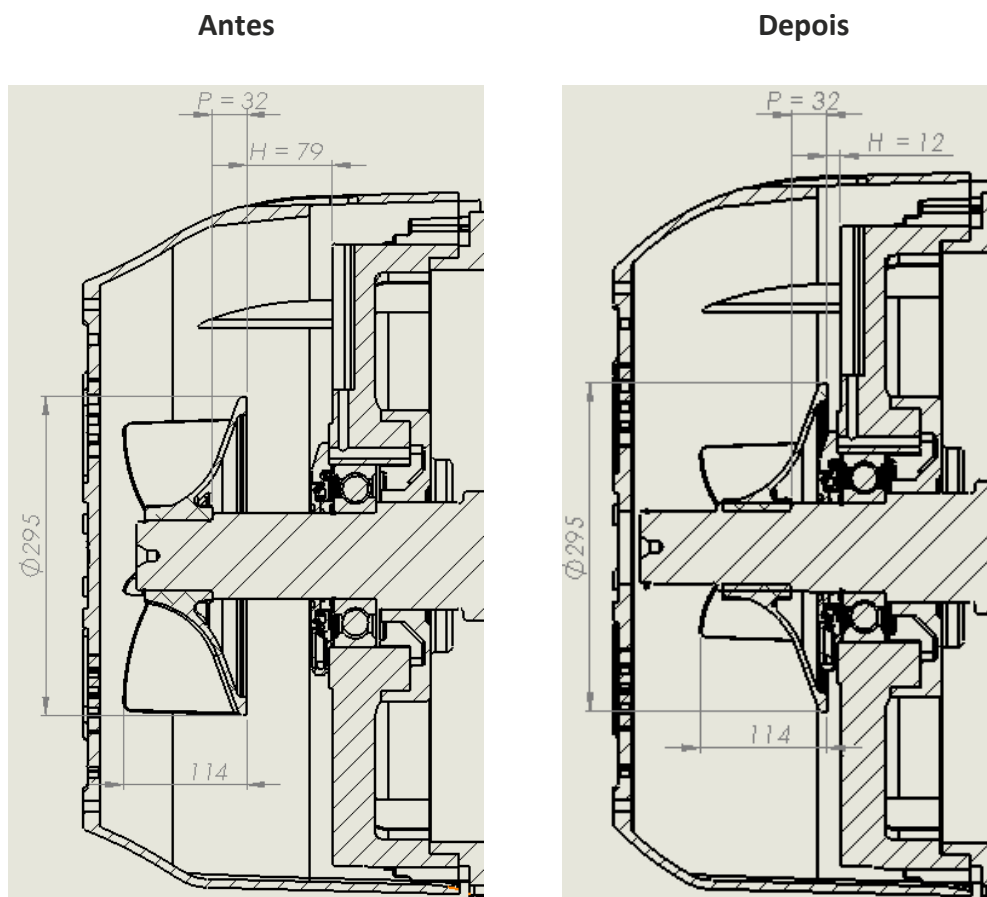


Figura 38 - Redução cota H

Com esta alteração, foi possível reduzir o comprimento da tampa em 67 mm. Assim sendo, no total o comprimento da TD foi reduzido em 108mm.

### Diminuição da espessura da TD 2014 (Cota I)

O passo seguinte consistiu em reduzir a espessura da TD (**cota I**), para isso, foi necessário comparar a espessura das tampas já existentes, uma vez que estas tinham sido alvo de estudos a esse nível, mais precisamente, W50, W22 e W22Xd (WMO), ver Tabela 14.

Verificou-se assim que a TD do W50 tinha a mesma espessura que a TD 2014, ou seja, 8 mm. Contudo, tendo em conta que a espessura das tampas do W22 e do W22Xd (WMO) tinham apenas 6 mm, identificou-se uma potencialidade de melhoria. Deste modo, foi possível reduzir a **cota I** em 2 mm (Ver Figura 39).

Tabela 14 - Cota I

315L 4 Polos	Cota I (mm)
W22Xd (WPT)	4 (Não comparável, material diferente!)
W22Xd (WMO)	6
W22	6
W50	8

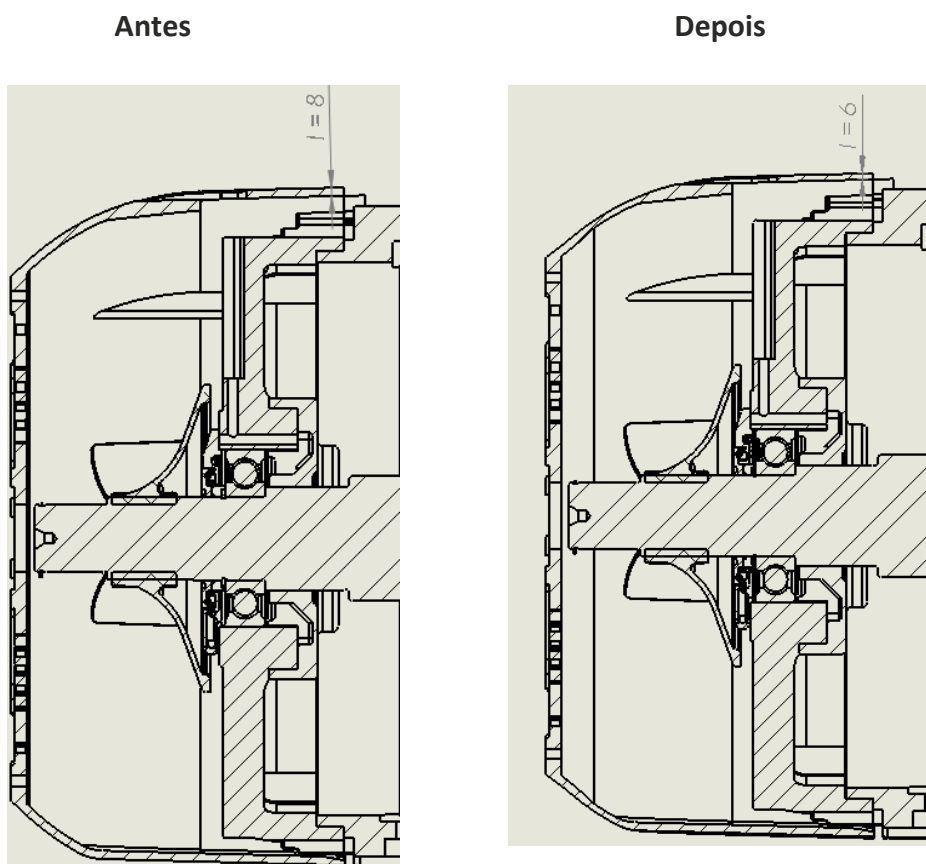


Figura 39 - Redução cota I

### Diminuição da espessura da rede da TD 2014 (Cota K)

A próxima modificação realizada foi na espessura da rede da TD 2014 (**cota K**). Mais uma vez, foi necessário comparar a espessura da rede da TD com as tampas do W22 e W22Xd (WMO). Contudo, neste caso não foi realizada a comparação com o W50, pelo facto de a rede ser realizada em aço em vez do ferro fundido.

Desta forma, verificou-se que a TD 2014 tinha uma espessura de 16 mm e que as tampas do W22 e W22Xd tinham uma espessura de 12 mm (Ver Tabela 15). Como tal, modificou-se a espessura da rede da TD 2014 para 12mm (Ver Figura 40).

Tabela 15 - Cota K

315L 4 Polos	Cota K (mm)
W22Xd (WPT)	2 (Não comparável, material diferente!)
W22Xd (WMO)	12
W22	12
W50	3 (Não comparável, material diferente!)

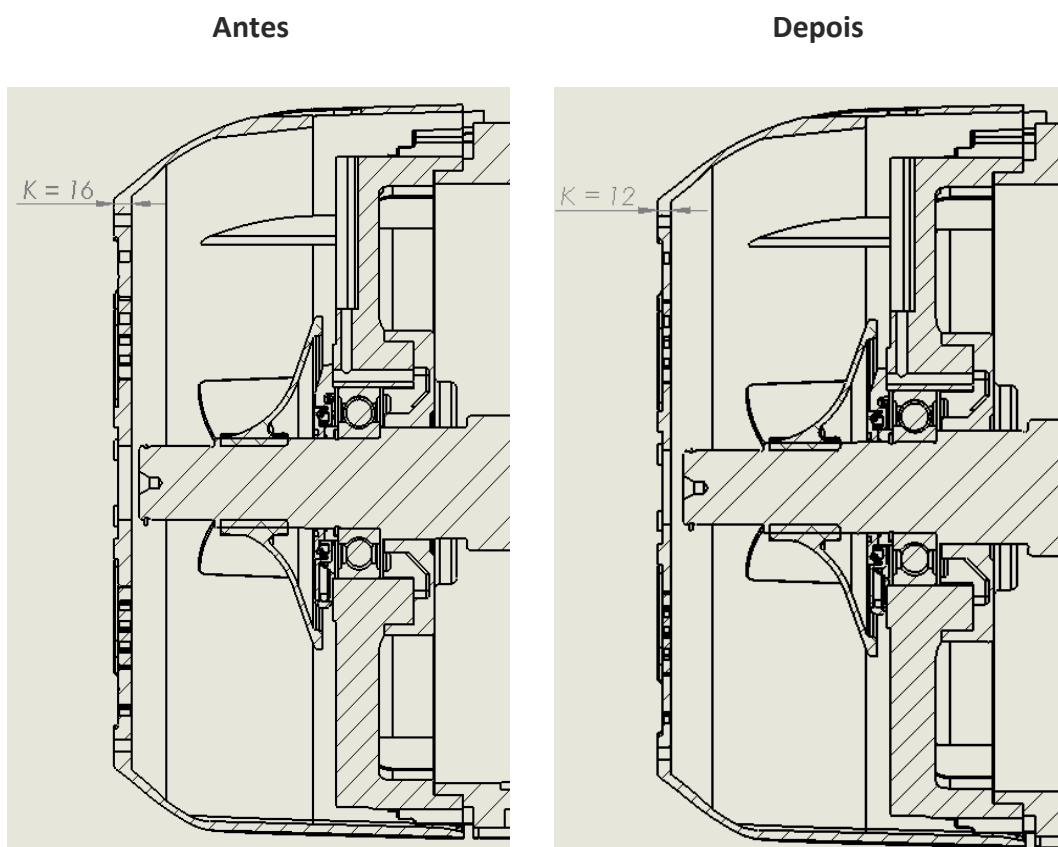


Figura 40 - Redução cota K

Em suma, após as várias modificações alcançou-se a proposta final da TD, ao qual se designou TD 2018 (Ver Figura 41 e Tabela 16):

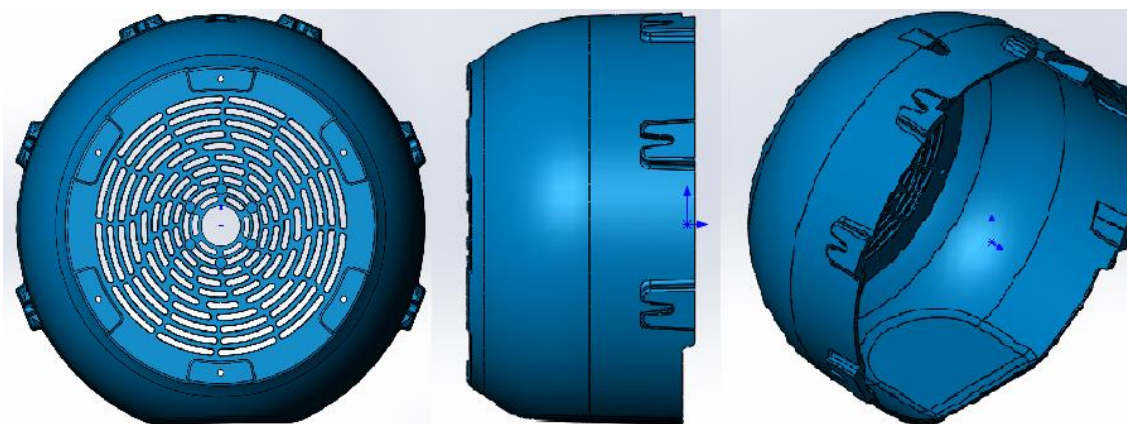


Figura 41 – TD 2018

Tabela 16 - Características TD 2018

<b>Características TD 2018</b>	
Preço	73.92 €
Peso	42.94 Kg
Cota R	300 mm
Material	Ferro Fundido Cinzento (FC-200)
Processos de Fabrico	Fundição

Na Tabela 17 é possível verificar observar melhorias significativas na produção desta nova tampa (TD 2018):

Tabela 17 - Melhorias com a Proposta TD 2018

	<b>Comparação TD Padrão</b>	<b>Comparação TD 2014</b>	
<b>TD 2018</b>	<b>Peso</b>	+ 7.85 Kg	-21.09 Kg
	<b>Preço</b>	- 164,29 €	- 36.31 €
	<b>Comprimento</b>	- 92.1 mm	- 108 mm

Por conseguinte, verifica-se que foi possível obter os seguintes resultados:

- Redução de custo;
- Redução de peso face à proposta de Leal (2014);
- Facilidade de empilhamento e redução de dimensões, o que permite redução de custo de armazenamento e transporte;
- Facilidade de produção devido ao processo de fabrico utilizado, em comparação com a TD padrão;
- Redução do tempo de produção e da mão-de-obra necessária;
- Redução do desperdício de materiais.

Contudo, esta TD apresentava alguns aspetos negativos, comparativamente à TD padrão, nomeadamente:

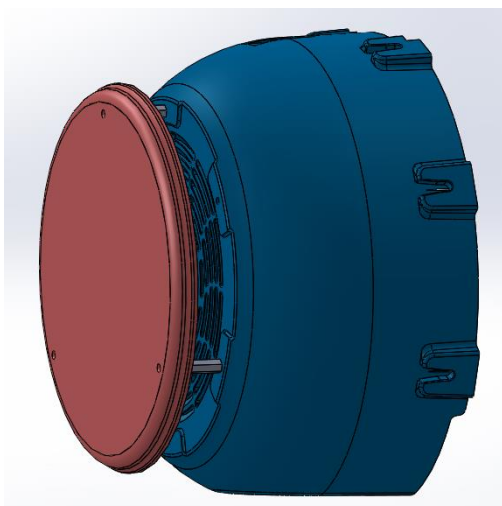
- Produção do molde e elevado custo associado;
- Fabrico do molde demorado;

### **Criação dos opcionais para a TD 2018**

O passo seguinte consistiu em criar os opcionais para a TD elaborada (TD 2018) mais precisamente:

- Kit Anti-queda de corpos
- Kit Ventilação forçada

#### Kit anti-queda de corpos



Antes de criar de raiz um Kit anti-queda de corpos fez-se um levantamento dos Kits existentes e verificou-se que existia um que era acoplado pelo que não houve necessidade de criar um de raiz, como se pode verificar na Figura 34.

Figura 42 - Kit Anti-queda de corpos

- *Novo parafuso de fixação da TD*

Neste Kit apenas fez-se uma melhoria na fixação de modo a permitir uma montagem mais facilitada por parte dos operadores. Utilizava-se parafusos com forma exterior cilíndrica o que dificultava o seu aperto. Desta forma, modificou-se o seu formato exterior para hexagonal o que permite uma montagem mais facilitada da TD à tampa anti-queda de corpos (Figura 43).



Figura 43 - Modificação do Parafuso

#### Kit de ventilação forçada

De seguida, o desafio consistiu em criar um kit de ventilação forçada (IC416). Inicialmente foi necessário realizar uma reflexão sobre como é que o motor de ventilação forçada (motor auxiliar) seria suportado. Daí se considerarem duas hipóteses:

- Fixação por flange
- Fixação com uma estrutura “tipo-aranha”

- *Solução flangeada*

Na solução de fixação do “motor filho” por flange, foram necessários realizar-se 4 furos na TD, sendo estes concêntricos com os furos do motor filho.

Verificou-se que nesta solução os esforços ficavam muito concentrados na região centro da rede. Como se havia reduzido a espessura da mesma, esta ideia foi colocada de parte, visto que não era uma opção viável voltar a aumentar a espessura da rede por causa da ventilação forçada (IC416) uma vez que esta é muito menos usada do que a ventilação padrão (IC411).



Figura 44 - Proposta inicial Kit Ventilação Forçada Flangeado

- *Kit estrutura tipo “aranha”*

Desta forma, a solução passou por elaborar um kit de ventilação forçada com uma estrutura “tipo-aranha”, sendo que, essa estrutura era apoiada nos reforços da TD, habitualmente designados por “castanhas” (ver Figura 45).



Figura 45 - Castanhas TD

Inicialmente teve-se por base o

Kit de ventilação forçada

utilizado atualmente nos motores W22Xd (WPT), tal como se pode verificar Figura 46.

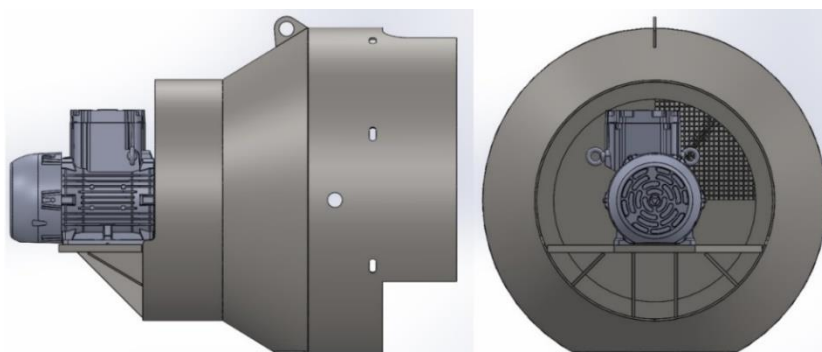


Figura 46 - Kit de Ventilação Forçada - "Estrutura aranha" W22Xd (WPT)

Peso da Estrutura	10.47 kg (Não inclui o peso da TD, o peso do motor filho nem o peso do kit de ventilação)
-------------------	---

Com base nesta solução alcançou-se o seguinte resultado:



Figura 47 - Proposta inicial Kit de Ventilação Forçada - "Estrutura aranha"

---

Peso da Estrutura	14.14 kg (Não inclui o peso da TD, o peso do motor filho nem o peso do kit de ventilação)
-------------------	---

---

Tal como se pode observar, para elaborar esta estrutura "aranha" for necessário mudar o número e disposição das castanhas da TD. Assim sendo, enquanto inicialmente a TD era composta por 6 castanhas e eram distribuídas de forma uniforme (tal como se pode verificar na Figura 48), com esta alteração, o número de castanhas aumentou para 8 e estas não ficaram distribuídas uniformemente devido à adição de dois "braços estruturais" (Figura 47).



Figura 48 - Número de castanhas TD inicial

No entanto, esta alteração tornava a TD menos apelativa visualmente, uma vez que as castanhas não estavam distribuídas uniformemente. Por outro lado, a estrutura estava muito sobredimensionada, o que influenciava o seu peso final e conseqüentemente o peso do motor, e levava ao aumento do custo de produção do componente.

Devido às desvantagens mencionadas, surgiu a necessidade de criar um novo kit de ventilação forçada – “Estrutura aranha”, tendo por base o kit da gama W50 400 (Figura 49).

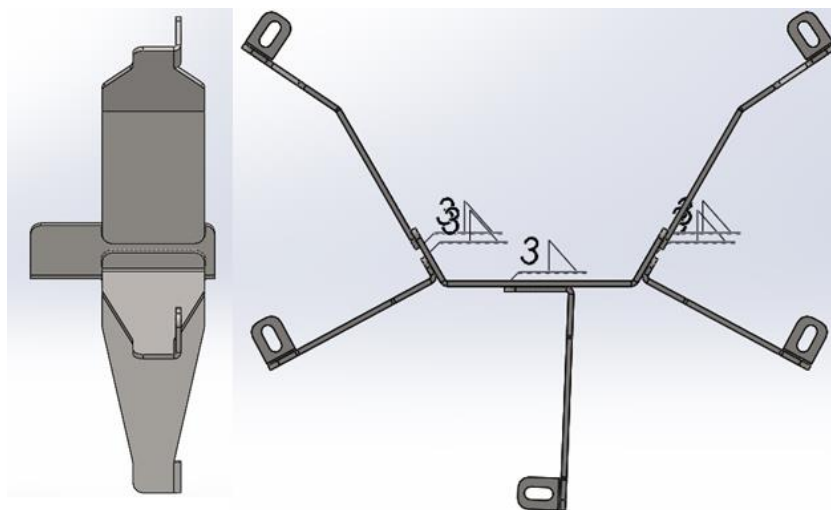


Figura 49 - Kit de Ventilação Forçada - "Estrutura aranha" W50 400

---

<b>Peso da Estrutura</b>	5.95 kg (Não inclui o peso da TD, o peso do motor filho nem o peso do kit de ventilação)
--------------------------	--

---

Deste modo, foram elaboradas alterações ao Kit da Gama W50 400, iniciando pela modificação da inclinação dos suportes (braços). Para além disso, foram também necessárias modificações no número de suportes em que se optou por reduzir o seu número para 4 (Ver Figura 50).

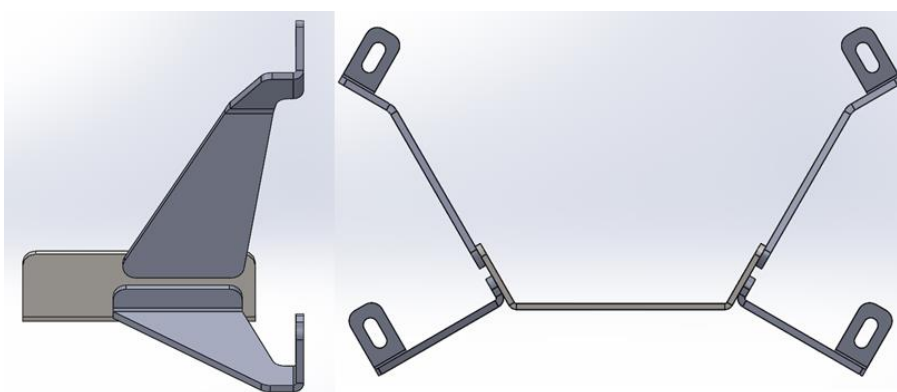


Figura 50 - Proposta Final Kit de Ventilação Forçada - "Estrutura aranha"

---

<b>Peso da Estrutura</b>	4.25 kg (Não inclui o peso da TD, o peso do motor filho nem o peso do kit de ventilação)
--------------------------	--

---

### 3.2.3.2. TD W22Xd WMO

No decorrer do processo do desenvolvimento da nova TD, surgiu a ideia de usar a TD do W22Xd (WMO) (Figura 51) no motor W22Xd (WPT). Isto não só pelos benefícios que esta solução poderia trazer, que serão enunciados mais á frente, como pelas características geométricas semelhantes, como é o caso do número de suportes de fixação da tampa traseira do motor que coincide com o número de castanhas da TD WMO (Figura 51 e Figura 52).

Além disso, com esta solução, os aspetos negativos que as TDs anteriores apresentavam são eliminados, nomeadamente:

- Necessidade de produzir molde e o seu custo associado
- Maior peso que a TD Padrão do W22X

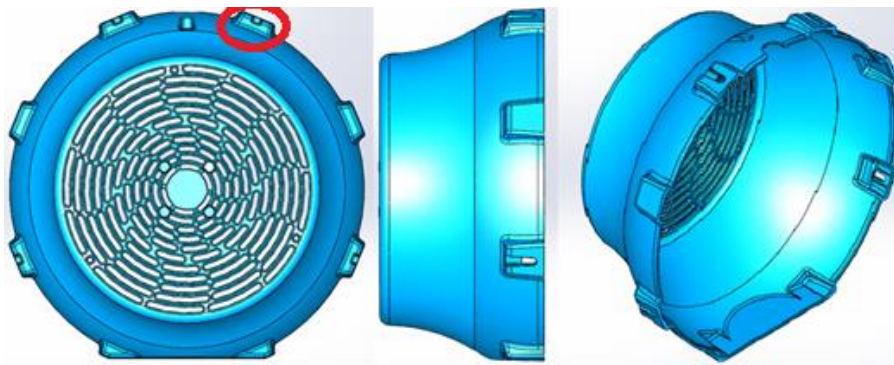


Figura 51 - TD Motor W22Xd (WMO): Castanhas assinaladas a vermelho

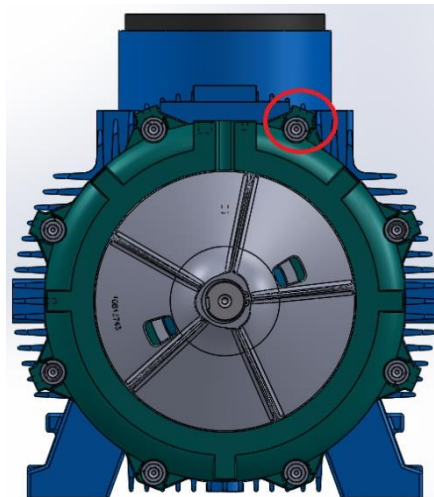


Figura 52 - Suporte de Fixação da Tampa Traseira (assinalado a vermelho)

Tabela 18 - Características da TD W22Xd (WMO)

Características TD WMO	
Preço	55.76 €
Peso	32.39 Kg
Cota R	271 mm
Material	Ferro Fundido Cinzento (FC-200)
Processos de Fabrico	Fundição

O próximo passo consistiu em fazer uma montagem em SolidWorks da TD WMO no motor W22Xd 315L (WPT) e verificar se esta solução era viável.

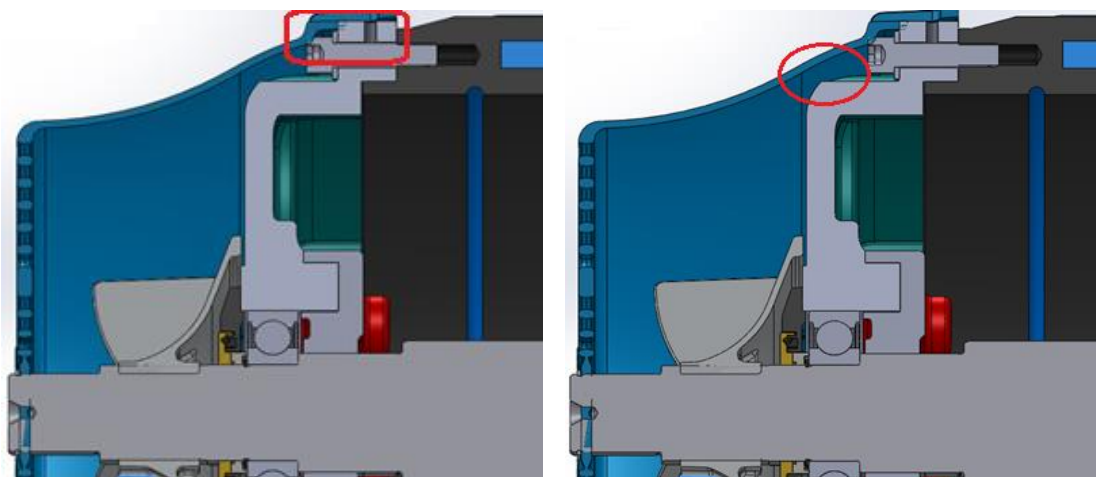


Figura 53 - Problemas de montagem da TD W22Xd WMO no Motor W22Xd WPT

Tal como se pode observar na figura anterior, Figura 53, após a montagem verificou-se que existiam sobreposições entre alguns componentes do ME. Para além disso, a secção de passagem de ar (**cota J**) entre a tampa traseira e a TD era reduzida.

Tendo em conta os problemas mencionados anteriormente, o próximo passo consistiu em utilizar a TD WMO de dimensões superiores, utilizada no motor W22Xd (WMO) 355. Contudo, as dimensões desta eram demasiado elevadas pelo que não era uma solução viável uma vez que não ia cumprir a função de direcionar o ar corretamente. Assim, esta ideia foi posta de parte, pelo que apenas se ia verificar a possibilidade da realização de ensaios das TDs WMO nos motores W22Xd (WPT) com altura de eixo correspondente.

## Parâmetros analisados

### Comparação do diâmetro e área de entrada de ar das diferentes tampas deflectoras (Cota D)

O diâmetro de entrada de ar (**Cota D**) e área de entrada de ar foram também parâmetros que mereceram especial atenção. Na Figura 54 é possível observar o método utilizado para obter a área de entrada de ar, verificada através do SolidWorks.

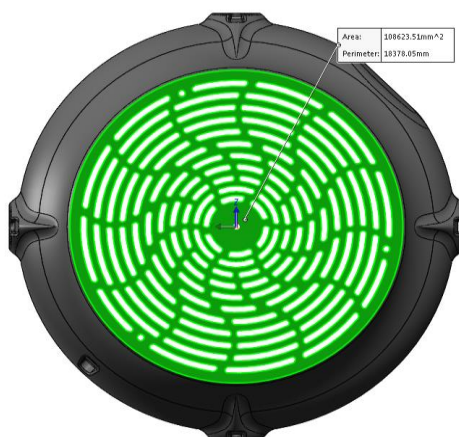


Figura 54 - Área de entrada de ar

Na Tabela 19, a TD do motor W22Xd (WMO) quando comparada com as TD de outras gamas, é a que apresenta maior diâmetro de entrada de ar (**Cota D**), com a exceção das TD W22 e HGF que possuem exatamente a mesma dimensão uma vez que as redes são iguais.

Ao utilizar esta opção de TD, com maior diâmetro de entrada de ar (**Cota D**), houve um aumento considerável na área de escoamento quando comparada com a tampa desenvolvida por Leal (2014) tal como é possível observar na Tabela 19. Este aumento permite uma captura do ar mais facilitada por parte do ventilador, o que por sua vez permite uma melhoria na refrigeração do ME.

Tabela 19 - Diâmetro de entrada de ar e área de escoamento

Tampa Deflectoras 315	Cota D [mm]	Área de escoamento [mm <sup>2</sup> ]
TD Padrão	410	84421,57
TD 2018	411	59098,87
TD WMO	448	70611,82
W22	448	70611,82
HGF	448	70611,82
W50	415	96003,61

A diferença entre a área de escoamento dos motores W22Xd (WPT) Padrão e W50 relativamente aos restantes motores deve-se ao material utilizado nas redes das TD e aos seus processos de fabrico inerentes. Essas redes são feitas em aço por construção soldada pelo que não são necessárias espessuras tão elevadas quando comparadas com redes produzidas em ferro fundido, como é o caso das restantes redes. Deste modo, é compreensível que as TD produzidas por fundição apresentem uma área de escoamento menor, visto que possuem uma rede mais apertada, mesmo tendo um diâmetro de entrada de ar (**Cota D**) maior.

Contudo, o diâmetro de entrada de ar (**Cota D**) não deve ser excessivamente elevado, pois, apesar de melhorar a refrigeração, pode prejudicar o ruído.

Segundo Leal (2014), quanto maior for a diferença entre o diâmetro da entrada de ar (**Cota D**) e o diâmetro do ventilador (**Cota M**), maior é o ruído produzido pelo motor. Este fator deve-se ao fenómeno de vorticidade que é gerado quando o ar que entra no ventilador é projetado e colide com a deslocação de ar que está presente na parte superior do ventilador.

Deste modo, no caso de existir necessidade de reduzir o ruído é possível atuar de duas formas:

- A primeira consiste em reduzir o diâmetro de entrada de ar (**Cota D**) da TD. No entanto, não é uma opção eficiente quando é pretendido utilizar a TD do W22Xd (WMO), visto que, seria necessário realizar alterações no molde e daí surgiriam vários inconvenientes tais como custo e tempo elevado de produção;
- Ou então, utilizar um ventilador de maior diâmetro (maior **Cota C**), sendo uma opção mais vantajosa na medida em que não é necessário efetuar alterações na TD;

Em ambas as opções, é possível reduzir a **Cota M** e assim reduzir diretamente a geração de ruído provocado pelo cruzamento de correntes de ar.

#### Comparação do comprimento que a TD sobrepõe as alhetas do motor (Cota E)

O comprimento que a TD sobrepõe as alhetas do motor (**Cota E**) foi também um parâmetro alvo de comparação. Tal como se pode observar na Tabela 20, a TD Padrão do motor W22Xd (WPT) sobrepõe-se às alhetas cerca de 140 mm, o que difere bastante quando comparada com a montagem do motor W22Xd (WPT) com a TD WMO, em que as alhetas estão distanciadas da TD cerca de 18 mm.

Tabela 20 - Comparação dos comprimentos que as TD sobrepõem as alhetas do ME

Tampa Deflectoras 315	Cota E [mm]
HGF	0
TD WMO	0
TD Padrão (W22Xd)	140 (sobre as alhetas)
W50	50 (sobre as alhetas)
W22	5 (afastado das alhetas)
W22Xd (WPT) com TD WMO	18 (afastado das alhetas)

Contudo, nas mais recentes TDs utilizadas na WEGeuro já não se verificam sobreposições nas alhetas do motor. Contrariamente, as mesmas estão afastadas da TD. Para que esse afastamento não prejudique o direcionamento do ar ao longo do comprimento do motor a WEG utiliza como estratégia a diminuição do diâmetro interno das TDs. Com esta medida permite que o ar seja canalizado o mais próximo da superfície da carcaça entre as alhetas. Quanto mais próximo circular o ar da superfície da carcaça maior será o arrefecimento da mesma.

Este fenómeno é explicado, na medida em que o caudal de ar ao atravessar uma secção menor, aumenta a sua velocidade, o que por sua vez provoca uma elevação do número de Reynolds. Esta elevação tem como consequência um aumento do número de Nusselt, levando a um aumento do coeficiente de transferência de calor por convecção, permitindo assim um maior fluxo de calor convectivo.

## Ensaio do protótipo

### Alteração da tampa traseira do W22Xd (WPT) 315 L

De modo a averiguar a viabilidade da utilização da TD WMO no motor W22Xd (WPT) realizou-se uma encomenda ao Brasil de duas TDs, uma para a altura de eixo 315 e outra para a altura de eixo 355. Esta encomenda possibilitou a realização de ensaios laboratoriais para verificar se eram aptas para substituírem a TD padrão em aço.

Contudo, para que as mesmas possam ser testadas, é necessário efetuar algumas alterações à tampa traseira, tendo em atenção a influência de todos estes parâmetros verificados anteriormente. A tampa traseira chega em bruto de fundição do Brasil o que permite maquinar a mesma nas instalações da WEGeuro sem entraves. Assim sendo, o primeiro passo foi maquinar a tampa traseira.

Tal como se pode observar na Figura 55, existe sobreposição do veio do motor e do ventilador com a TD WMO.

Desta forma para avaliar esta proposta com o mínimo de recursos, surgiu a ideia de utilizar um motor em processo de produção onde seria trocada a Tampa Traseira pela proposta maquinada (ver Figura 59).

Na Figura 55 é possível observar a tampa traseira antes e depois de ser maquinada a fim de tornar viável a utilização da TD WMO. Nesta é possível verificar as alterações realizadas, nomeadamente:

- As castanhas foram maquinadas em altura e foi realizado um “Fillet” na zona de interferência com a TD;
- O furo das castanhas foi recuado para que o parafuso de fixação das tampas traseiras não colide-se com a TD;
- Foram retirados os reforços da parte exterior da Tampa Traseira de modo a permitir uma melhor passagem de ar.

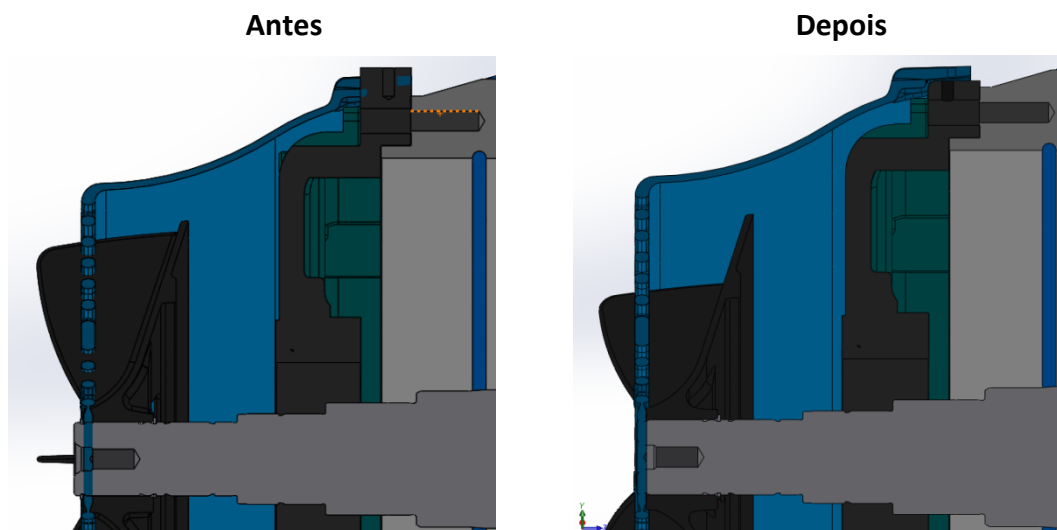


Figura 55 – Antes e depois da Tampa Traseira ser maquinada

Na Figura 56 é possível observar as castanhas antes e depois de serem maquinadas. Sendo que à esquerda não estão maquinadas e à direita maquinadas para ser validada a utilização da nova proposta de TD (TD WMO).



Figura 56 - Fotografia real da maquinagem das castanhas da TD

A segunda alteração mencionada anteriormente causou um desvio da TD tal como se pode observar na Figura 57.

**Antes**

**Depois**

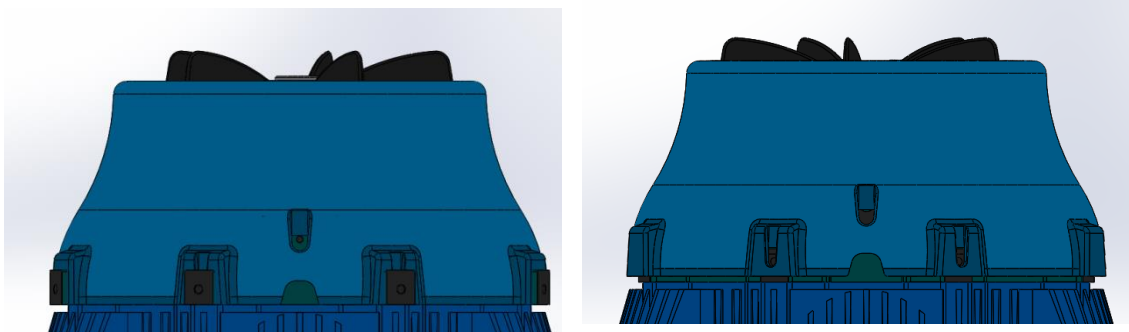


Figura 57 - Desvio da TD após o recuo do Furo das Castanhas da TD

Na Figura 58 pode-se observar uma fotografia do desvio que foi necessário realizar na TD.



Figura 58 - Fotografia real do desvio da TD após o recuo do Furo das Castanhas

Por fim, observando a Figura 59 pode-se verificar os elementos que foram eliminados da superfície da tampa traseira, assim como, os locais onde a mesma foi maquinada.

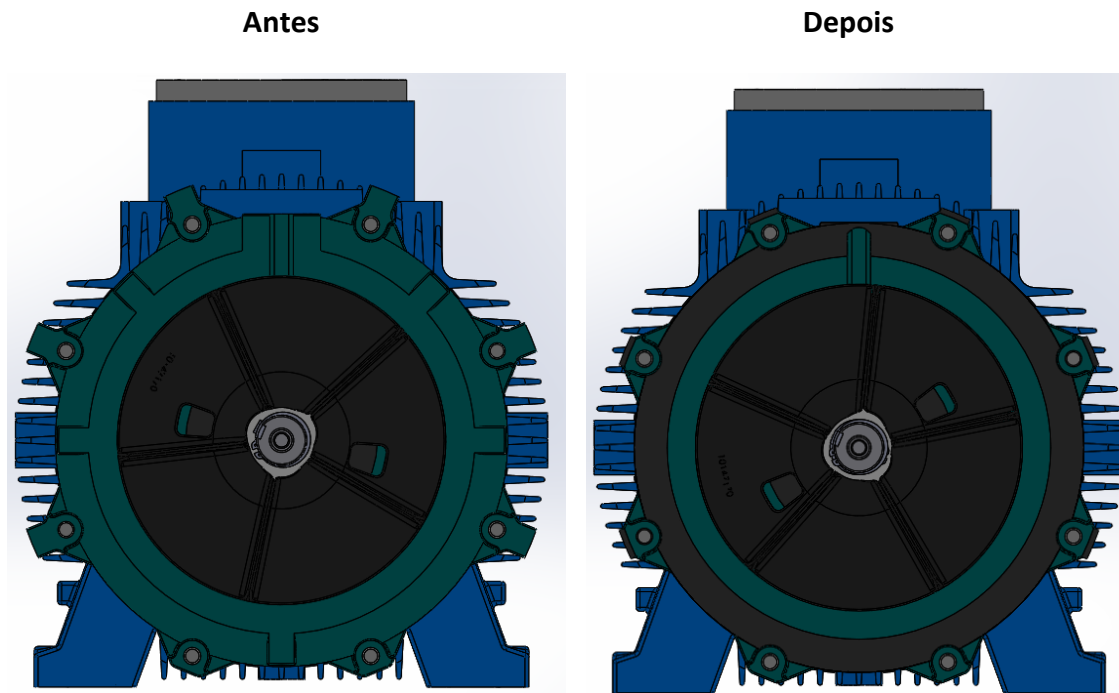


Figura 59 - Tapa Traseira Maquinada

Na Figura 60, é possível observar uma fotografia real da tampa traseira do ME com as alterações efetuadas.



Figura 60 - Fotografia real da tampa traseira com as alterações realizadas

### Alteração do veio do motor W22Xd (WPT) 315 L

O veio utilizado para a realização dos ensaios da TD WMO foi o mesmo do motor que se encontrava em fase de produção com algumas modificações, de modo a alocar novas posições para o ventilador, eliminando assim a sobreposição do ventilador com a TD. Desta forma, é possível retirar conclusões sem necessidade de produzir um novo veio. Deste modo, a encomenda não fica comprometida pois, após a realização dos ensaios, o ventilador é colocado na posição original, assim como a Tampa Traseira original e a TD Padrão.

Para além da posição original, o veio foi alterado de maneira a alocar outras duas posições do ventilador:

- Na primeira posição utilizou-se a mesma linha de pensamento aquando da modificação da TD 2014. Usou-se o ventilador com maior **cota P**, ou seja, o ventilador 295x114 mm (Tabela 12) em que esta era de 32 mm. Com este ventilador o objetivo consistiu em diminuir a distância da **cota H** de 79 mm para 5 mm, uma vez que era a distância mais baixa utilizada pelos motores que foram alvo de estudo (mais precisamente no motor W22, ver Tabela 13). Desta forma, o ventilador padrão daquele motor, 420x134 mm, ficou posicionado a uma cota H de 6 mm e uma cota F de 30.74 mm (Ver Figura 63).

- Para definir a segunda posição do ventilador utilizou-se o ventilador com maior **cota O** (ver Tabela 11), ventilador 420x134 mm, que neste caso correspondia ao ventilador padrão, garantindo-se desta forma que todos os ventiladores utilizados nesta altura de eixo não iriam chocar com a TD. Outro aspeto que se teve em atenção na definição da nova posição do ventilador foi o posicionamento dos rasgos efetuados anteriormente para os circlips da posição 1 e da posição padrão do ventilador. Agora os rasgos para a nova posição não podiam interferir com os anteriores. Posto isto, o ventilador padrão para aquele motor ficou posicionado com uma Cota H de 28.2 mm e uma cota F de 8.54 mm (Ver Figura 64).

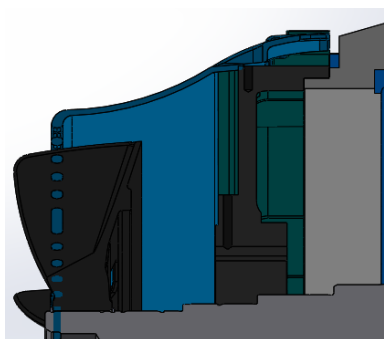


Figura 61 - Posição Original do Ventilador

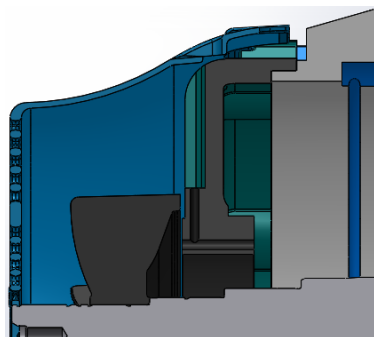


Figura 62 - Posição 1 (Ventilador 295x114, Cota P=32mm, Cota H=5mm)

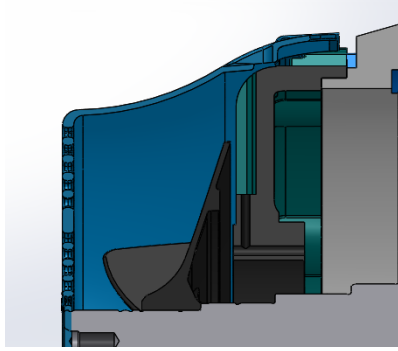


Figura 63 - Posição 1 (Ventilador Padrão 420x134, Cota P = 31 mm, Cota H = 6 mm, Cota F = 30.74 mm)

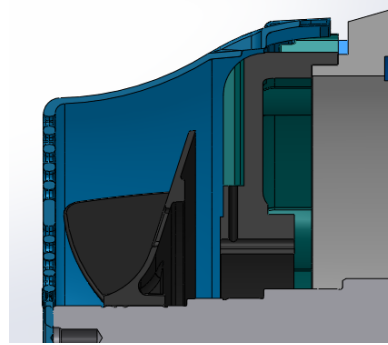


Figura 64 - Posição 2 (Ventilador Padrão 420x134, Cota P = 31 mm, Cota H = 28.2 mm, Cota F = 8.54 mm)

Na Figura 65 é possível observar uma fotografia do ventilador padrão na posição 1, tal como se verifica na Figura 63.



Figura 65 - Fotografia real da posição 1 do ventilador padrão

Na Figura 66 (à esquerda), podemos observar a ponta do veio original apenas preparada para alocar o ventilador com a TD padrão. À direita é possível observar as alterações efetuadas ao veio original de modo a tornar viável a realização de ensaios laboratoriais com a nova proposta de TD (TD WMO). Assim, para além da posição padrão do ventilador, o veio está preparado para outras duas posições. Nesta situação é necessário utilizar duas chavetas. Para além da chaveta padrão (Tipo A) na posição 1 é necessário utilizar uma com ambas as extremidades retas (Tipo B) com comprimento igual à largura do ventilador.

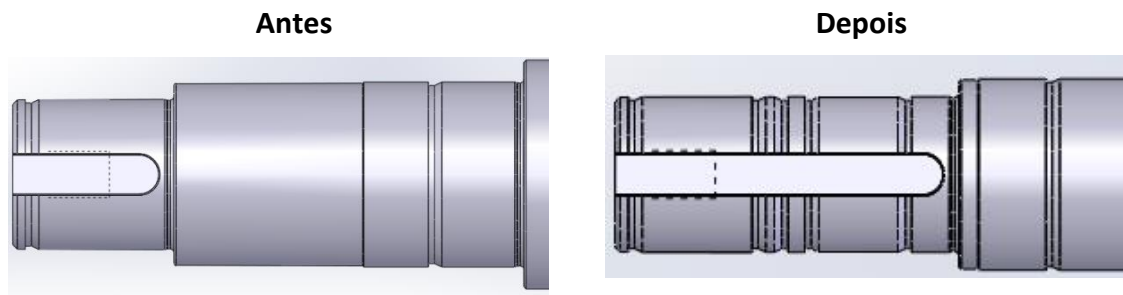


Figura 66 - Antes e depois da alteração do Veio para testar a nova TD

Na imagem que se segue, Figura 67, é possível observar uma fotografia do veio do ME com as alterações efetuadas.



Figura 67 - Fotografia real do veio com as alterações realizadas

#### Alteração da TD W22Xd (WMO) 315 L

Na Figura 55 é também possível observar a sobreposição do veio do motor com a TD do W22Xd (WMO). Deste modo foi necessário efetuar um furo na zona central da TD para permitir a passagem do veio pela mesma e assim permitir a realização dos ensaios (Ver Figura 68).

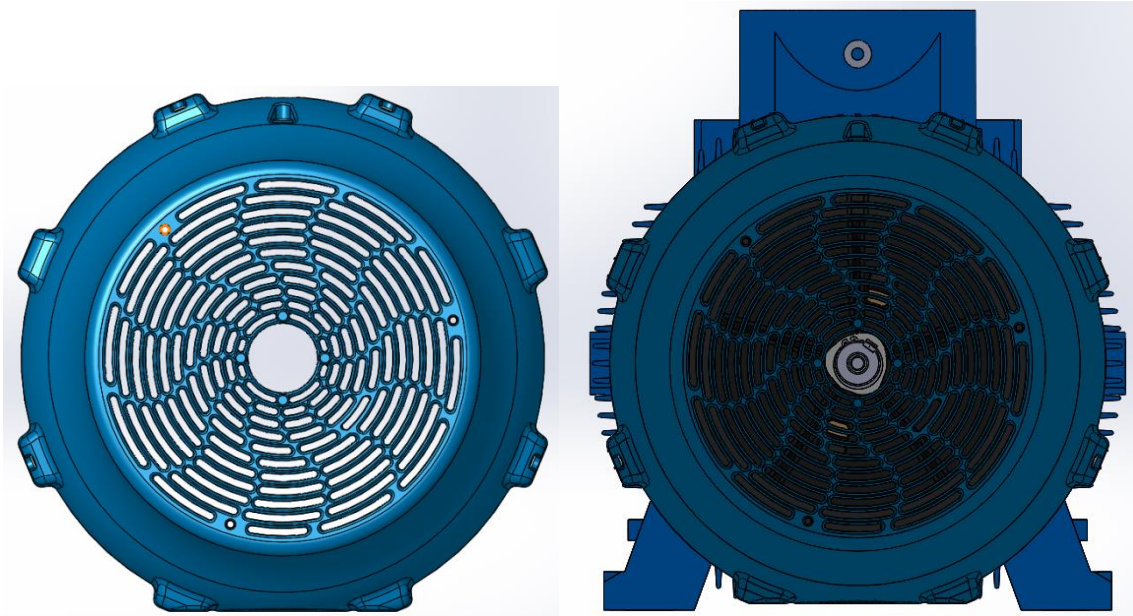


Figura 68 - Furo central realizado na TD WMO

O mesmo procedimento e raciocínio foram também realizados para a altura de eixo 355. Contudo de modo a não repetir todo o processo este pode ser visualizado no ANEXO 5 - Alterações efetuadas no Motor W22Xd (WPT) 355 A/B para ensaiar a TD WMO.

Na Figura 69, é possível observar uma fotografia da TD com as alterações efetuadas.



Figura 69 - Fotografia real da TD com as alterações realizadas

### 3.2.4. Resultados

Fruto da realização desta etapa é importante visualizar de forma realista o conjunto do ME contemplando a TD e todas as modificações efetuadas (ver Figura 70):



Figura 70 - Motor W22Xd 315 L 4P com as alterações efetuadas

Com as alterações realizadas nesta etapa é de notar modificações consideráveis e com impacto bastante positivo para a organização. Na Figura 71 é possível observar a evolução do Motor W22Xd 315L 4P ao longo de todo este processo de estudo e desenvolvimento da nova TD para esta gama.

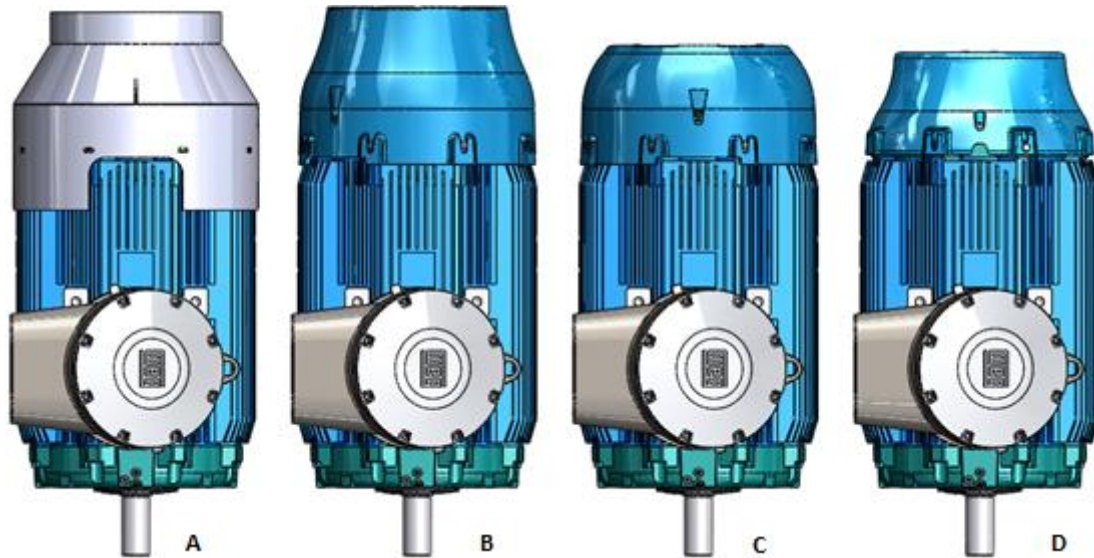


Figura 71 - Evolução do Motor W22Xd 315L 4P com a alteração das TD's

**Legenda:**

- A - Motor W22Xd 315L 4P com TD Padrão;
- B - Motor W22Xd 315L 4P com TD 2014;
- C - Motor W22Xd 315L 4P com TD 2018;
- D - Motor W22Xd 315L 4P com TD WMO.

Ao observar a Figura 71 é notável a redução de comprimento do Motor W22Xd (WPT) 315L 4P ao utilizar a TD WMO. Tal como se pode verificar no gráfico seguinte (Gráfico 4) a TD WMO permitiu uma redução de 112 mm no comprimento do mesmo.

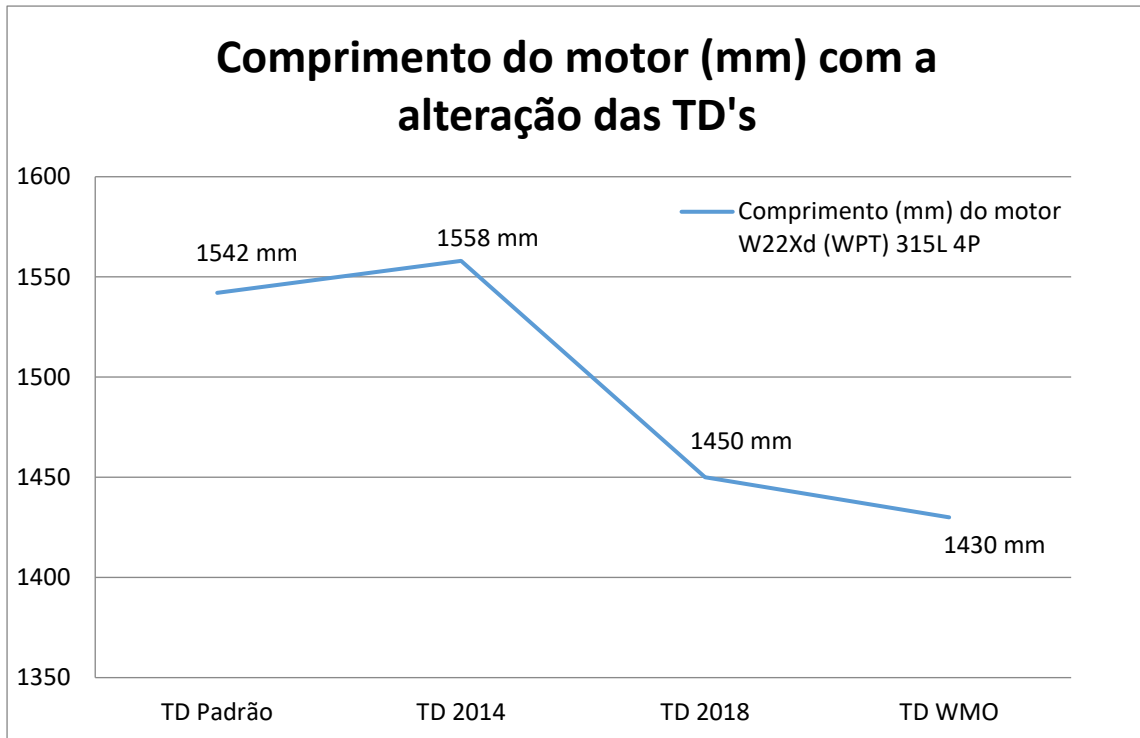


Gráfico 4 - Evolução do Comprimento do motor (mm) com a alteração das TD's

No Gráfico 5 é possível observar que a nova TD é a mais leve de todas as opções. Por outro lado, ao utilizar esta nova solução, é necessário maquinar a tampa traseira e reduzir o comprimento do veio do ME. Deste modo, o seu peso final será ainda menor, o que é vantajoso.

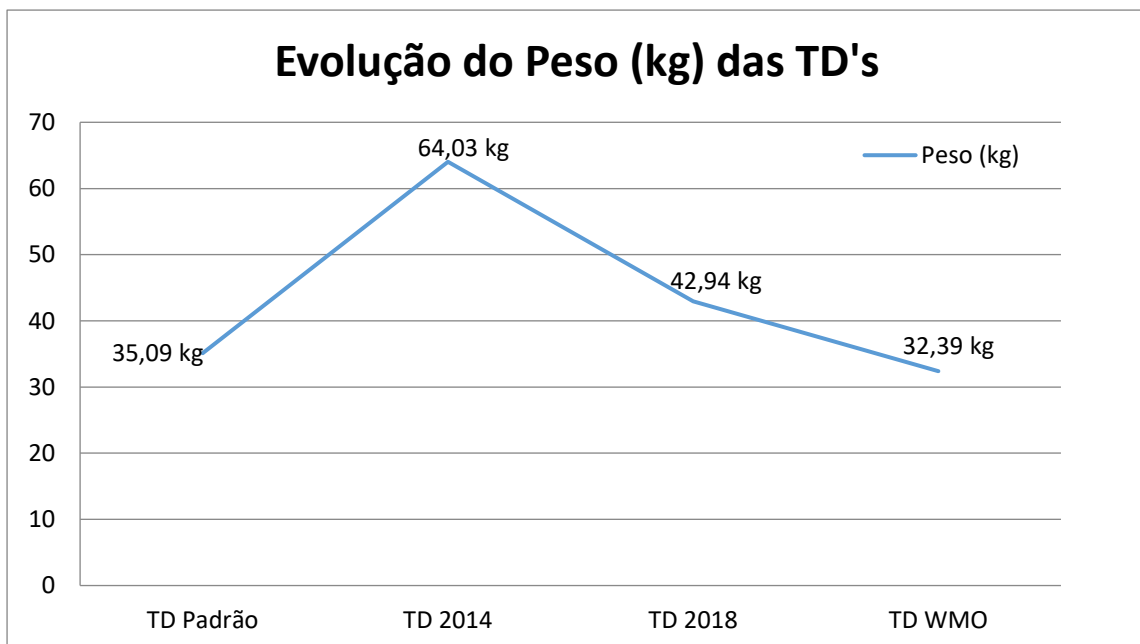


Gráfico 5 - Evolução do Peso (kg) das TDs

Outro aspeto bastante importante é a redução de custo da TD. Tal como se pode observar no Gráfico 6, existe um decréscimo acentuado no custo da TD. Esta nova solução permitirá uma redução de custo de 76.59 %, ou seja 182.24 €/unidade.

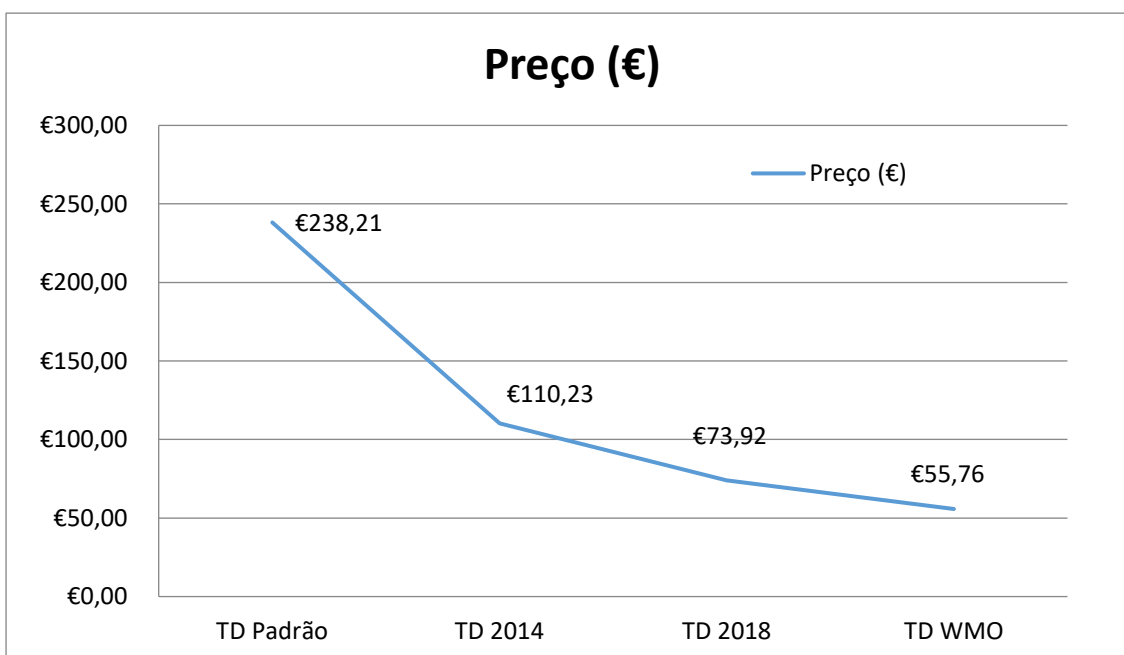


Gráfico 6 - Evolução do Custo das TD's

Na Tabela 21 é possível comparar a TD WMO com todas as tampas que foram mencionadas até ao momento:

Tabela 21 - Comparação da TD W22Xd WMO com as restantes soluções

	Comparação TD padrão	Comparação TD 2014	Comparação TD 2018
<b>Peso</b>	-2.7 Kg	- 31.64 Kg	- 10.55 Kg
<b>Preço</b>	- 182.45 €	- 54.47 €	- 18.16 €
<b>Comprimento</b>	- 121.1 mm	- 137 mm	- 29 mm

Utilizando os procedimentos descritos anteriormente em 0 – Motores e seus ventiladores, foi possível registar o ruído e o caudal para o motor W22Xd 315L 4P.

Assim, é possível comparar o comportamento destes motores ao utilizar a TD WMO e a TD padrão, permitindo depois verificar se a TD WMO é uma boa solução comparativamente à TD padrão.

Na Figura 72 é possível observar novamente os pontos onde foram efetuadas as medições da velocidade do ar, e na Tabela 22 observar os resultados obtidos para as diferentes soluções:

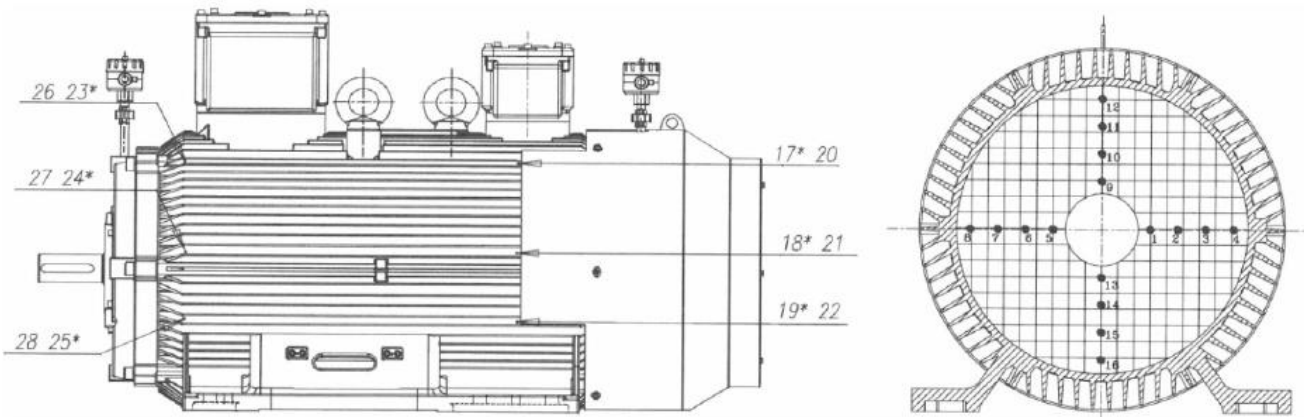


Figura 72 - Pontos de medição da velocidade do ar

Tabela 22 - Velocidades do ar na TD

Pontos	Velocidade [m/s]		
	TD padrão + Ventilador posição padrão	TD WMO + Ventilador Posição 1	TD WMO + Ventilador Posição 2
1	9,5	11,2	10,4
2	9,5	10	11,2
3	8,5	5,8	9,3
4	5,5	4	14,2
5	8,5	10	10,4
6	8,5	8,9	11,4
7	9	6,4	5,7
8	7,5	8,2	9,2
9	8,5	11,7	11,1
10	9	12,4	12,5
11	9	8,4	9,7
12	7	18,2	22,7
13	8	11,7	10
14	9	12,3	10,6
15	9	8,8	8,9
16	7,5	26,8	23,1

17	16,5	11,9	13
18	15	23,1	25,2
19	14	12,1	4
20	14,5	20,6	23,9
21	15	9,3	9
22	12	21,8	31,5
23	10,2	4,5	4,6
24	5,5	12,4	14
25	9,5	4	4,8
26	11	11,3	13,7
27	5,5	5	5,1
28	12	5	5,5
Média	9,8	11,3	12,3

Como é possível verificar na Tabela 22, observando a média para as três situações, a TD WMO permite encaminhar mais caudal comparativamente à TD Padrão. Outro aspeto verificado, refere-se à posição 2 do ventilador, a posição mais afastada relativamente à tampa traseira, esta permite insuflar mais caudal relativamente à posição 1.

Dividindo o motor por secções, é possível calcular a velocidade média do ar nas mesmas, permitindo uma análise mais precisa deste parâmetro ao longo do comprimento do motor. Deste modo é possível efetuar comparações mais justas da influência da TD no escoamento de ar ao longo do comprimento do ME.

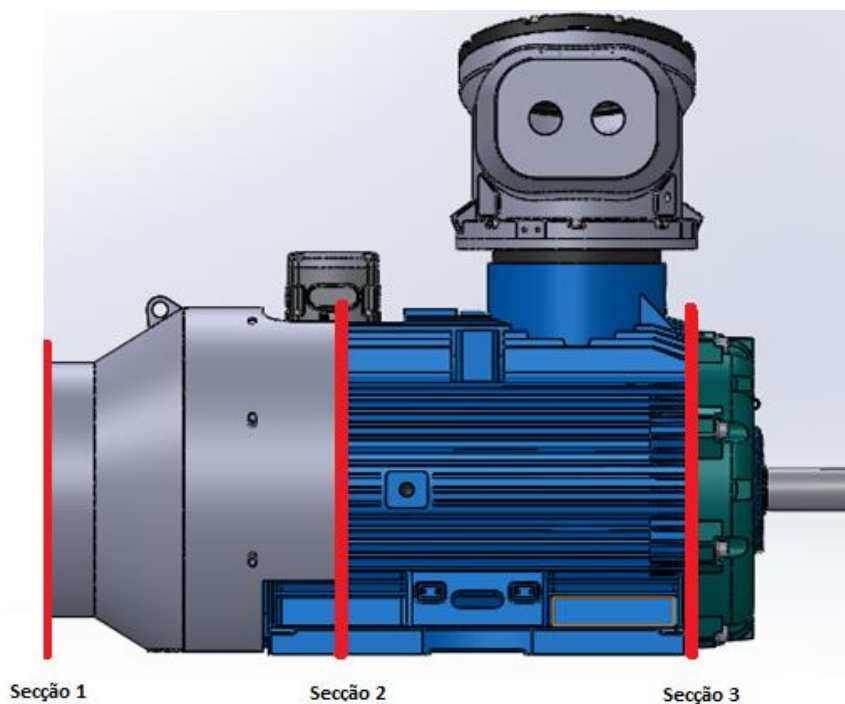


Figura 73 - ME dividido por secções para calcular a média da velocidade do ar

As secções representadas na Figura 73, englobam os diferentes pontos da Figura 72, que representam as secções onde foram medidas a velocidade do ar. Os pontos que cada secção engloba são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Pontos de medição da velocidade em cada secção

Secção	Pontos de medição de velocidade
1	1 até ao 16
2	17 até ao 22
3	23 até ao 28

Na Tabela 24 é possível observar a média da velocidade do ar para cada secção da nova proposta de TD (TD WMO), assim como da TD Padrão.

Tabela 24 - Velocidade de ar média por secções

	Velocidade média por secções [m/s]		
	TD padrão + Ventilador posição padrão	TD WMO + Ventilador Posição 1	TD WMO + Ventilador Posição 2
Secção 1	8.3	10.9	11.9
Secção 2	14.5	16.5	17.8
Secção 3	8.95	7.0	8.0

Na Tabela 24, é possível comparar a velocidade nas diferentes secções. Traduzindo esses valores em percentagem (Tabela 25) é possível estabelecer comparação da nova TD (TD WMO) relativamente à TD padrão.

Tabela 25 - Variação percentual do caudal de ar da TD WMO com a TD Padrão

	TD WMO + Ventilador Posição 1	TD WMO + Ventilador Posição 2
Secção 1	+31%	+43%
Secção 2	+14%	+23%
Secção 3	-21%	-11%

Tal como podemos observar pela tabela anterior, os valores são bastante satisfatórios, principalmente na Secção 1 e na Secção 2 do ME, onde se obtiveram ganhos na ventilação consideráveis face à TD Padrão. Como se pode verificar na tabela, utilizando a TD WMO com o ventilador na posição 2 é possível constatar uma melhoria de 43% na secção 1 aquando comparada com a TD Padrão.

Contrariamente ao que acontece na secção 1 e secção 2, na secção 3 ocorre uma diminuição da velocidade do ar em comparação com a TD Padrão, contudo espera-se que estas perdas de velocidade sejam compensadas com os ganhos anteriores.

Relativamente ao ruído, o mesmo foi medido nos locais indicados na Figura 74, utilizando o procedimento já descrito anteriormente em 0 - 3.1. Motores e seus ventiladores.

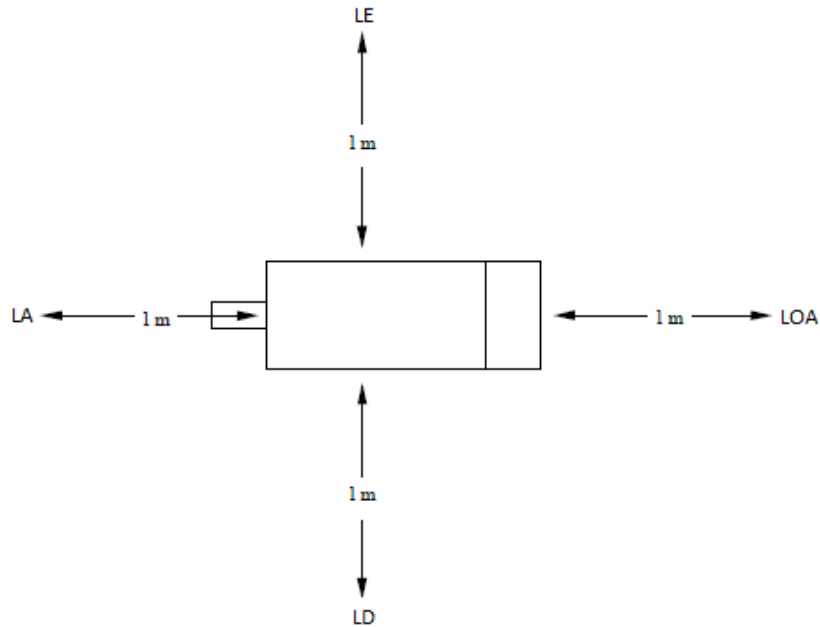


Figura 74 - Pontos de medição do ruído no ME

Na Tabela 26 é possível observar o ruído medido nos pontos indicados pela Figura 74, assim como, o ruído de fundo (RF). Com estes dados foi possível calcular, através das equações (1) e (2), o ruído médio e o ruído do motor respetivamente.

Tabela 26 -Comparação do ruído do W2Xd (WPT) com a TD Padrão e a TD WMO

Pontos de Medida	Ruído [dB]		
	TD padrão + Ventilador posição padrão	TD WMO + Ventilador Posição 1	TD WMO + Ventilador Posição 2
LA	72	77	77
LOA	83	81,8	82,3
LD	81,8	78,8	79,3
LE	82,2	79,9	79,5
RF	76,3	73,6	73,7
LpA	81,2	79,7	79,9
LpA'	79,6	78,5	78,8

Como é possível verificar na Tabela 26, a TD WMO provoca um menor ruído no ME, o que é vantajoso. Em termos percentuais, verifica-se que a TD WMO quando comparada com TD Padrão apresenta uma diminuição de 1.3% com o ventilador na posição 1 e uma diminuição de 1.0% na posição 2 (ver Tabela 27).

Tabela 27 - Variação percentual do ruído da TD WMO com a TD padrão

Pontos de Medida	TD WMO + Ventilador Posição 1	TD WMO + Ventilador Posição 2
LpA'	-1,3%	-1,0%

É possível concluir também que a posição 2 do ventilador é a que se traduz em maiores benefícios para a ventilação. Relativamente ao ruído, o ventilador na posição 1 apresenta ligeiras melhorias, contudo, uma vez que a diferença entre ambas é mínima, considera-se de uma forma geral que a posição 2 traduz-se em melhores resultados.

Desta forma, para validar esta nova solução de utilizar a TD WMO no ME WPT, efetuaram-se ensaios de aquecimento com estabilização térmica, sendo estes realizados com o ventilador na posição 2 (posição mais afastada da tampa traseira), uma vez que esta posição se traduziu em melhores resultados (ver Tabela 25 e Tabela 27). Estes ensaios permitem também verificar as consequências da redução da velocidade do ar observada na secção 3 do ME ao utilizar a TD WMO (ver Tabela 24).

Na tabela seguinte, Tabela 28, é possível observar os resultados dos respetivos ensaios:

Tabela 28 - Resultados do ensaio de aquecimento com estabilização térmica

Aquecimentos	Aquecimento dos Rolamentos		Aquecimento Bobinagem	
	RLA [°C]	RLOA [°C]	Máximo (Sonda) [°C]	(Método da resistência) [°C]
Padrão - 315 4P	34	25,9	65,2	56,8
Protótipo - 315 4P	36,3	27,4	66,7	59,8
Diferença	2,3	1,5	1,5	3

**Legenda:**

- RLA - Rolamento do lado de ataque (dianteiro);
- RLO - Rolamento do lado oposto ao ataque (traseiro);

Nota: O aquecimento máximo da bobinagem foi obtido pelo maior valor fornecido pelas 6 sondas de temperatura existentes no interior do ME. O método da resistência é um método de cálculo da temperatura média da bobinagem de acordo com a norma.

Da Tabela 28 é possível verificar que a utilização da TD WMO comparativamente à utilização da TD Padrão não tem grande influência no aquecimento dos rolamentos, ocorrendo um aquecimento adicional de 2.3 °C no rolamento do lado de ataque (RLA) e de 1.5 °C no rolamento no lado oposto ao ataque (RLOA). Relativamente ao aquecimento da bobinagem, utilizando os valores máximos de aquecimento transmitidos pelas sondas em cada ME, a sonda do motor protótipo apresenta um aquecimento adicional de 1.5°C. Utilizando o método de cálculo para obter o aquecimento médio da bobinagem (método da resistência) é verificável um aquecimento adicional de 3 Kelvin.

No Gráfico 7 podemos observar de forma expedita os resultados dos ensaios de aquecimento.

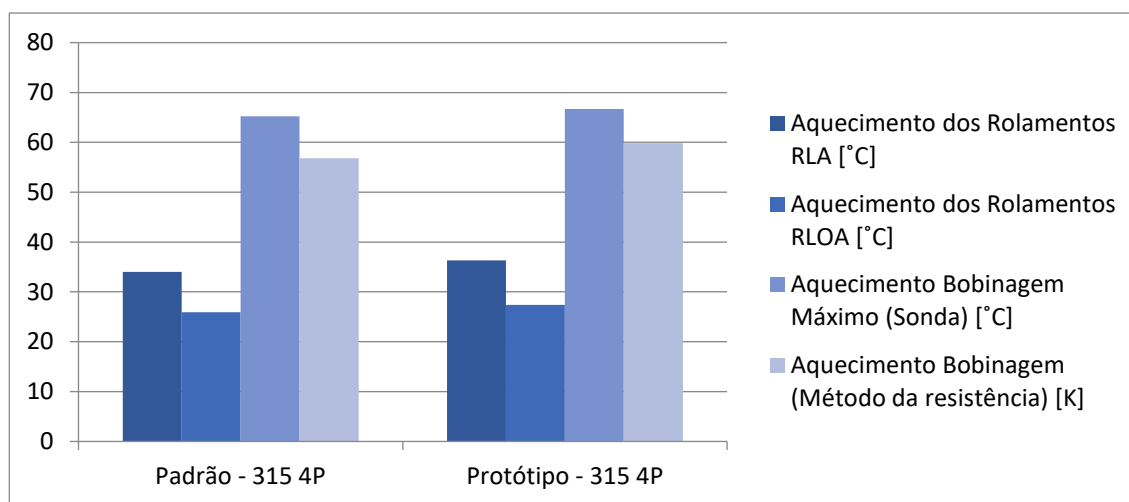


Gráfico 7 - Comparação dos ensaios de aquecimento no motor padrão e no motor protótipo

É possível concluir que apesar do ME apresentar um ligeiro aumento de temperatura no geral, este não é significativo e, portanto, não inviabiliza a utilização da TD WMO no W22Xd.

Em suma, após uma análise de todos os resultados laboratoriais (caudal de ar, ruído e ensaio de aquecimento) é possível confirmar que a TD WMO é uma boa opção para substituir a atual TD Padrão face a todas as vantagens que apresenta.

### 3.2.5. Discussão

Finalizada a segunda etapa – Implementação industrial de nova TD em ferro fundido para a gama W22Xd (WPT), verificam-se melhorias consideráveis.

Em acrescento, como verificado anteriormente, os ensaios foram realizados no motor W22Xd 315 L 4P, não tendo sido possível realizar os mesmos no motor W22Xd 355 A/B 2P. Mais se informa que o respetivo ME se encontra ainda em produção, sendo este o motivo pela não realização dos ensaios. Contudo, assim que possível, será um trabalho que futuramente a entidade acolhedora de estágio irá terminar de forma a obter informações com mais precisão.

Por outro lado, é importante reforçar os benefícios obtidos para a organização com as alterações que foram realizadas. Primeiramente pode-se observar as principais alterações para as duas alturas de eixo (Tabela 29):

Tabela 29 - Principais alterações observadas nas duas alturas de eixo

Alterações	Alturas de eixo	
	315	355
- Variação de custo da TD	- 182.45 €	- 144.24 €
- Variação do Peso da TD e motor	- 2.7 kg	+ 2.2 kg
- Variação do comprimento do motor	- 112 mm	- 99 mm

Em acrescento verifica-se de imediato vantagens para a entidade de uma forma em geral:

- Custo reduzido da TD;
- Redução do comprimento do ME;
- Redução do peso no ME 315;
- Padronização visual;
- Ausência de custos associados ao fabrico do molde (uma vez que o mesmo já existe);
- Redução da mão-de-obra necessária para o fabrico uma vez que é uma peça única obtida por fundição;
- Redução do tempo de produção;
- Maior facilidade de montagem;
- Redução do ruído do motor;
- Aumento do caudal médio de ventilação;
- Facilidade de armazenamento e empilhamento;

No entanto, também é possível delimitar lacunas com as alterações realizadas, nomeadamente:

- Necessidade de maquinar a tampa traseira;
- Redução do caudal de ventilação na secção 3 (Ver Figura 73 e Tabela 24);
- Aumento do aquecimento nos rolamentos e bobinagem (Tabela 28 e Gráfico 7);

- Inexistência de Kit de ventilação forçada (apenas existe Kit anti-queda de corpos), uma vez que, a rede do W22Xd (WMO) não tem reforços (castanhas), tal como, a proposta realizada para a nova tampa do W22Xd (WPT), ver Figura 75 e Figura 76.

Assim sendo, não é de todo seguro conceber um KIT de ventilação forçada para a mesma. Posto isto, nas situações em que o Kit de Ventilação Forçada (IC416) seja necessário, será utilizado a atual (padrão) TD em Aço (AISI 1020).



Figura 75 - Reforços de fixação para ventilação forçada da proposta realizada para a TD WPT

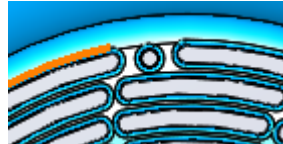


Figura 76 - TD WMO sem reforços de fixação

Em suma, é notório que a realização desta etapa foi uma mais-valia para a entidade acolhedora de estágio, melhorando significativamente os gastos e os custos com a produção do motor em questão, permitindo a redução de mão-de-obra necessária e o tempo despendido para o mesmo.



### 3.3. Novo ventilador axial

Neste subtópico do capítulo Desenvolvimento pretende-se atingir o objetivo ***Desenvolvimento de novo ventilador axial para a gama W22XdT.***

#### 3.3.1. Contextualização

Neste momento está em aberto um estudo para melhoria dos ventiladores da gama W22XdT ao qual já foram apresentadas algumas soluções.

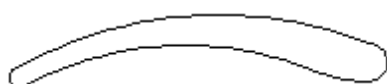
Das soluções apresentadas algumas melhoravam substancialmente as prestações dos ventiladores, contudo, estas utilizavam perfis de pás complexos (perfis alares) pelo que era necessário recorrer a processos de fabrico dispendiosos.

O ventilador padrão desta gama é fabricado por construção soldada, ou seja, utiliza pás fundidas em aço, que de seguida são soldadas num cubo de aço. Na Tabela 30 é possível observar as características gerais do ventilador em questão. Para uma melhor compreensão sugere-se a consulta da Figura 17 e Figura 18.

Tabela 30 – Geometria Geral do ventilador axial utilizado na gama W22XdT

Características	Valor
$d_T$	450 mm
$d_H$	240 mm
$n_B$	8 un.
$x_c$	116 mm

As pás deste ventilador possuem um perfil curvo com uma corda e secção constante ao longo do seu comprimento. Na Figura 77 é possível observar o perfil da pá do ventilador atualmente utilizado. Mais uma vez é possível observar na Figura 18 as características aqui mencionadas de modo a obter uma melhor compreensão.



Padrão W22XdT (WPT)

Figura 77 - Perfil das penas atualmente utilizada na Gama W22XdT (WPT)

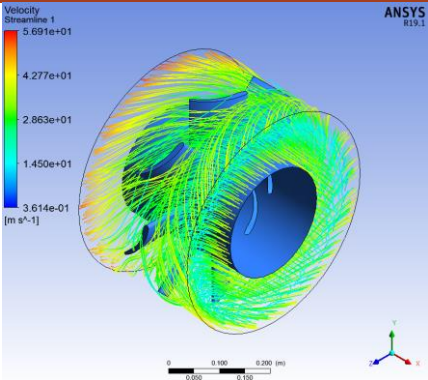
Na Tabela 31 é possível também verificar alguns dos parâmetros utilizados nas pás deste ventilador (Ver Figura 18).

Tabela 31 - Parâmetros utilizados nas pás do ventilador padrão do W22XdT

Ângulo de base	Torção da pá	Varição da Corda
30°	0°	Não se aplica

Através da simulação numérica do ventilador em questão obtiveram-se os resultados demonstrados na Tabela 32:

Tabela 32 - Resultados obtidos com a simulação do ventilador padrão

Caudal Volúmico [m <sup>3</sup> /s]	Perdas Mecânicas [W]	Linhas de Corrente
1.29	1331	

Devido à geometria complexa das pás do ventilador atual, não existiam alternativas para alterar o seu processo de fabrico e que permitisse uma redução de custo. Deste modo, foi permitida a alteração da geometria das pás, uma vez que estas eram responsáveis em grande parte pelo custo elevado do ventilador.

Com objetivo de colmatar os problemas descritos anteriormente, foi concebido pela WEGeuro um novo ventilador axial (Ver Figura 78).

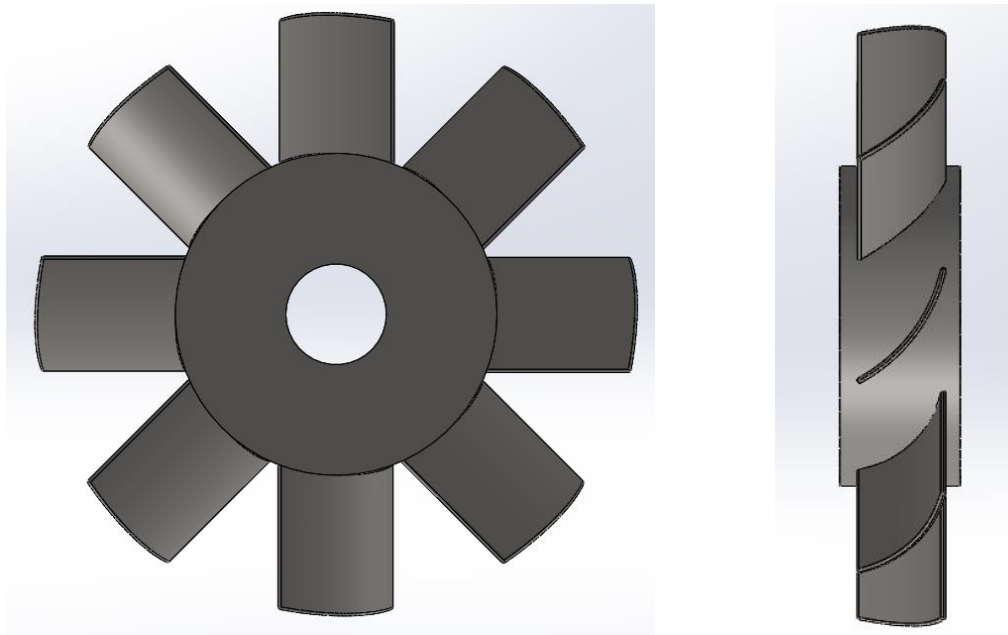


Figura 78 - Ventilador desenvolvido pela WEGeuro

Este ventilador possui pás de chapa calandrada e de espessura única, permitindo assim uma redução notória do seu custo de fabrico. Na tabela seguinte, Tabela 33, é possível observar as características gerais do respetivo ventilador:

Tabela 33 - Geometria geral do ventilador concebido pela WEGeuro

Características	Valor
$d_T$	450 mm
$d_H$	240 mm
$n_B$	8 un.
$x_C$	105 mm

Como se pode verificar ao comparar os valores da Tabela 30 (ventilador padrão) com os valores da Tabela 33 (ventilador concebido pela WEGeuro) são poucas as alterações do ventilador ao nível da sua geometria geral. Uma vez que, a principal mudança foi realizada no perfil das pás do ventilador.

As pás deste ventilador possuem um perfil curvo com uma corda e secção constante ao longo do seu comprimento. Na Figura 79 é possível observar o perfil da pá do ventilador desenvolvido pela WEGeuro:



Geometria da pá concebida para o novo ventilador da WEGeuro

Figura 79 - Perfil das pás do ventilador desenvolvido pela WEGeuro

Na Tabela 34 é possível também observar os parâmetros utilizados nas pás do ventilador desenvolvido.

Tabela 34 - Parâmetros utilizados nas pás do ventilador concebido pela WEGeuro

Ângulo de base	Torção da pá	Varição da Corda
25°	0°	Não se aplica

Por conseguinte, em comparação com os valores do ventilador padrão verifica-se uma redução do ângulo base de 5°.

Através da simulação numérica do ventilador em questão obtiveram-se os resultados demonstrados na Tabela 35:

Tabela 35 – Resultados obtidos com a simulação do ventilador concebido pela WEGeuro

Caudal Volúmico [m <sup>3</sup> /s]	Perdas Mecânicas [W]	Linhas de Corrente
1.09	1499	

O ventilador concebido pela WEGeuro permite uma redução de custos significativa. Contudo, verifica-se uma redução do caudal de insuflação e um aumento de perdas mecânicas comparativamente ao ventilador padrão.

Na Tabela 36, para uma mais fácil compreensão, identificou-se os valores obtidos em cada ventilador, permitindo assim estabelecer uma comparação entre ambos e averiguar a diferença existente do ventilador proposto pela WEGeuro face ao ventilador padrão.

Tabela 36 - Comparação dos resultados numéricos do ventilador padrão vs. proposta WEGeuro

	Padrão W22XdT	Proposta WEGeuro	Diferença
Caudal Volúmico [m <sup>3</sup> /s]	1.29	1.09	-15.5%
Perdas Mecânicas [W]	1331	1499	+12.6%

Tal como é possível observar, na Tabela 36 a solução que a WEGeuro aplica atualmente para reduzir os custos, apresenta uma redução do caudal volúmico na ordem dos 15.5%, para além disso, esta solução apresenta um aumento de perdas mecânicas na ordem dos 12.6%.

Deste modo, o desafio proposto nesta nova etapa do presente trabalho, consiste em elaborar um novo ventilador axial que permita manter/melhorar a redução de custo, mas que, ao mesmo tempo, possibilite insuflar mais caudal. Deste modo, seria possível proporcionar um melhor arrefecimento do ME, mesmo que gere um aumento de perdas mecânicas, uma vez que foi dada essa liberdade pela própria entidade (desde que não exageradas).

### 3.3.2. Metodologia

Após contextualizada a potencialidade encontrada na WEGeuro é fundamental planear o método que será aplicado para se atingir este desafio.

Inicialmente recorreu-se ao método empírico, de forma a compreender a perceção dos intervenientes da organização face à potencialidade encontrada e com o objetivo de obter-se informação sobre os ventiladores já existentes na WEGeuro, permitindo assim identificar os procedimentos de fabrico assim como a respetiva geometria. Em acréscimo recorreu-se também à análise documental na medida em que, foram analisados diversos estudos que tiveram como alvo os ventiladores, assim como, recorreu-se a estudos realizados pela WEGeuro sobre esta temática.

Em suma, os métodos acima mencionados (análise documental e empírica) permitiram detetar as possibilidades de melhoria tornando exequível o desenvolvimento de um novo ventilador axial, verificando o seu desempenho através de simulação numérica.

### 3.3.3. Descrição

Recorrendo às regras básicas definidas pela BASF [28] foi possível obter um ponto de partida adequado, o que permitiu definir grande parte dos parâmetros necessários para o desenho do ventilador (ver Tabela 37).

Contudo, foi necessário ter em atenção ao diâmetro do cubo ( $d_H$ ) e ao diâmetro externo do ventilador ( $d_T$ ), que limitavam o número de alternativas na definição da sua geometria geral. Assim sendo, devido às dimensões do local onde o ventilador irá ser aplicado, o diâmetro externo estava limitado, não podendo ultrapassar os 450 mm.

Enquanto que, o diâmetro de cubo teve como ponto de partida o valor de 240 mm contudo, permitia uma maior liberdade para alterações futuras. Com estes valores pré-definidos e com recurso às regras da BASF [28], equação ( 7), ( 8), ( 9), ( 10) e ( 11), torna-se possível definir as restantes características mencionadas na Tabela 37.

Tabela 37 - Características do ventilador usando as regras da BASF

Característica	Valor
<b>Ponto de Partida</b>	
$d_T$	450 mm
$d_H$	240 mm
<b>Resultados</b>	
$r$	0.53 mm
$r_m$	180 mm
$n_B$	7 un.
$x_P(r_H)$	108 mm
$x_{C \min}(r_H)$	110 mm
$x_{C \max}(r_H)$	431 mm

A partir dos cálculos efetuados anteriormente, constatou-se que um ponto de partida aceitável seria um ventilador com 7 pás, com valores de corda na ordem de 110 mm.

Relativamente à forma da pá, apenas foram consideradas pás com perfis de chapa de espessura única, uma vez que, o principal requisito desta fase consistiu em reduzir o seu custo de fabrico. Também não foram considerados efeitos de torção das pás (sweep), deslocamento diedro ou outros efeitos complexos similares pelo mesmo motivo.

## Modelo numérico

O modelo numérico aplicado teve como base o modelo já utilizado na WEGeuro, de forma a permitir uma comparação mais fiável com os estudos já efetuados pela entidade.

O modelo numérico utilizado para efetuar todas as simulações consistiu num volume de ar com 480 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, simulando assim a zona do túnel de ar onde o ventilador se encontra colocado no ME.

Para a realização das simulações recorreu-se ao programa CFX da ANSYS e foi utilizado o modelo de turbulência k- $\epsilon$  [30]. Optou-se por um modelo com alternância de referenciais, tendo-se definido o ventilador como referencial fixo e o ar e túnel como referenciais móveis. Foi considerado regime adiabático e incompressível.

Foram aplicadas as seguintes condições de fronteira:

1. “Opening” na entrada e saída de ar;
2. “Wall” no túnel de ar com rotação de 3000 rpm;
3. Rotação do Fluido de 3000 rpm.
4. “Wall” no ventilador, sem rotação;

Como já mencionado anteriormente, o ventilador desenvolvido pela WEGeuro dispunha de 8 pás, contudo, tendo em conta o ponto de partida definido pela BASF foi importante reduzir para 7 pás. Contudo de forma a obter resultados mais abrangentes foram também experimentadas outras combinações de pás, mais precisamente com 6 e 9.

Os resultados destas simulações numéricas podem ser observados na Tabela 38.

Tabela 38 - Alteração do número de pás do ventilador proposto pela WEGeuro

Alteração	Descrição da modificação	Caudal Volúmico [ $m^3/s$ ]	Perdas Mecânicas [ $W$ ]
Alteração 1	$n_B = 6$	1.01	1332
Alteração 2	$n_B = 7$	1.05	1431
Ventilador WEGeuro	$n_B = 8$	1.09	1499
Alteração 3	$n_B = 9$	1.09	1608

Fazendo uma análise crítica aos resultados obtidos, é possível observar que não ocorreram melhorias face ao ventilador proposto pela WEGeuro.

De seguida, uma vez que todos os parâmetros do ventilador já estavam próximos dos definidos pelas regras da BASF, aumentou-se o comprimento da corda da pá,  $x_c$ , para o dobro, permitindo assim verificar a influência desta modificação no desempenho do ventilador (Ver Tabela 39 Alteração 5). De referir, que esta modificação tinha como consequência direta o aumento da largura do cubo nas mesmas proporções.

Tabela 39 - Alteração da corda da pá para o dobro em simultâneo com o número de pás

	Descrição da modificação	Caudal Volúmico [ $m^3/s$ ]	Perdas Mecânicas [ $W$ ]
Alteração 4	$n_B = 9$ Pás $x_c = 210$ mm	1.01	1632
Alteração 5	$n_B = 8$ Pás $x_c = 210$ mm	1.03	1841
Alteração 6	$n_B = 7$ Pás $x_c = 210$ mm	1.11	1867
Alteração 7	$n_B = 6$ Pás $x_c = 210$ mm	1.13	1810
Alteração 8	$n_B = 5$ Pás $x_c = 210$ mm	1.15	1633

Em análise à Tabela 39, no ventilador desenvolvido pela WEGeuro se apenas fosse aumentada a corda da pá o desempenho do ventilador diminui. Deste modo, em simultâneo com esta modificação, alterou-se também o número de pás, pelo que permitiu obter melhores resultados.

Tal como se pode observar na Tabela 39 com o aumento da corda da pá ( $x_c$ ) para o dobro, não é necessário um número tão elevado de pás para emitir os mesmos níveis de caudal do ventilador proposto pela WEGeuro. No entanto, para caudais semelhantes estes produzem mais perdas mecânicas.

Pela análise da tabela anterior é possível encontrar duas propostas que apresentam maiores caudais volúnicos que a solução da WEGeuro, resultado das alterações 7 e 8. Contudo estas são causadoras de maiores perdas mecânicas.

Por fim, foram também realizadas alterações no diâmetro do cubo,  $d_H$  (alterando o valor do ponto de partida utilizado nas equações da BASF).

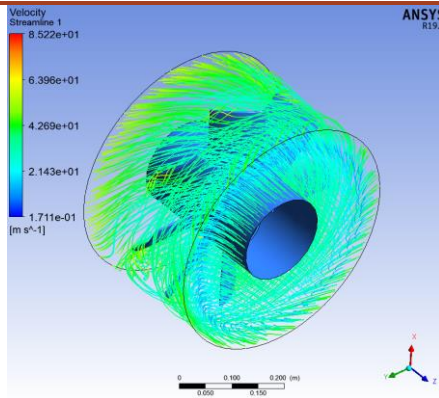
Inicialmente aumentou-se o diâmetro do cubo de 240 mm para 295 mm, com o objetivo de aumentar o número de pás, mantendo a distância entre pás do ventilador proposto pela WEGeuro (ver Tabela 40).

Tabela 40 - Aumento do diâmetro do cubo e número de pás

	Descrição da modificação	Caudal Volúmico [m <sup>3</sup> /s]	Perdas Mecânicas [W]
Alteração 9	$n_B = 9$ Pás $x_c = 105$ mm	0.74	829

Na Tabela 40 é possível observar uma redução grande do caudal volúmico com o aumento do cubo (mesmo aumentando o número de pás), tornando assim uma alteração não viável. No entanto, tendo como base a alteração número 9, a próxima etapa consistiu em realizar o inverso, ou seja, diminuir o diâmetro do cubo, mas mantendo o número de pás. Assim sendo reduziu-se o diâmetro do cubo de 240 mm (valor do ponto de partida para utilização das regras da BASF) para 175 mm (ver Tabela 41).

Tabela 41 - Nova proposta de ventilador

	Descrição da modificação	Caudal Volúmico [m <sup>3</sup> /s]	Perdas Mecânicas [W]	Linhas de Corrente
Alteração 10	$n_B = 8$ Pás $d_H = 175$ mm	1.68	1672	

Como se pode verificar na Tabela 41, a alteração 10 revelou vantagens consideráveis face ao ventilador criado pela WEGeuro, assim como, ao ventilador padrão. Uma vez que, permitiu um aumento considerável do caudal volúmico sem um aumento significativo de perdas mecânicas.

### 3.3.4. Resultados

No Gráfico 8 é possível observar a evolução do caudal volúmico ao longo de todo este processo de desenvolvimento de um novo ventilador axial para a gama W22XdT. Neste mesmo gráfico é notório a ótima prestação da última proposta de ventilador para esta gama.

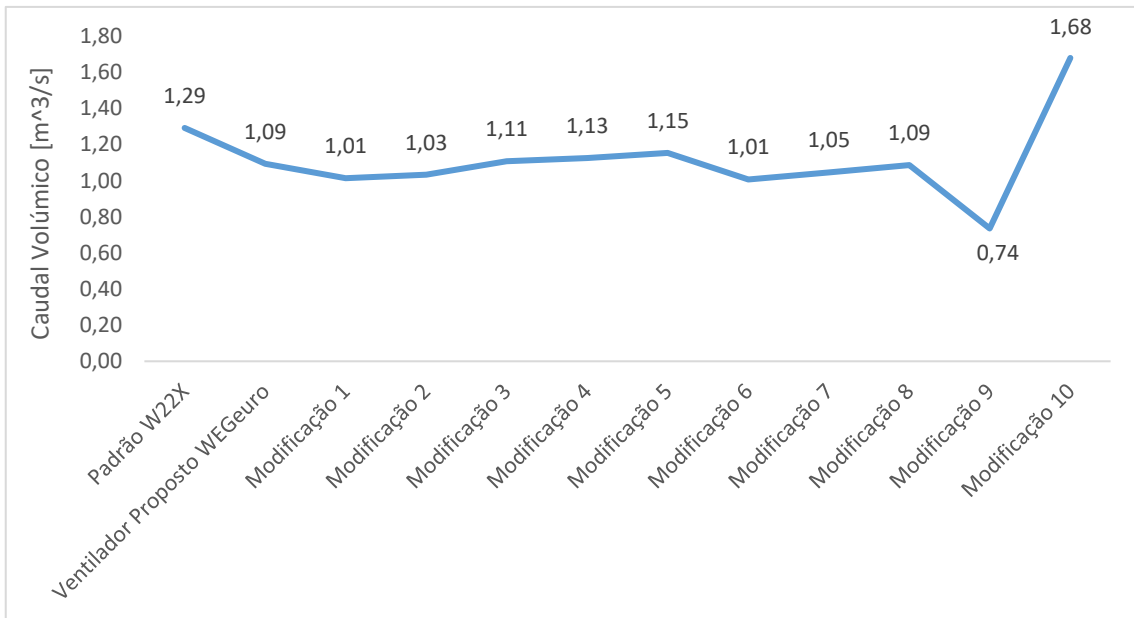


Gráfico 8 - Evolução do caudal volúmico dos ventiladores

No seguinte gráfico, Gráfico 9, é possível observar a evolução das perdas mecânicas.

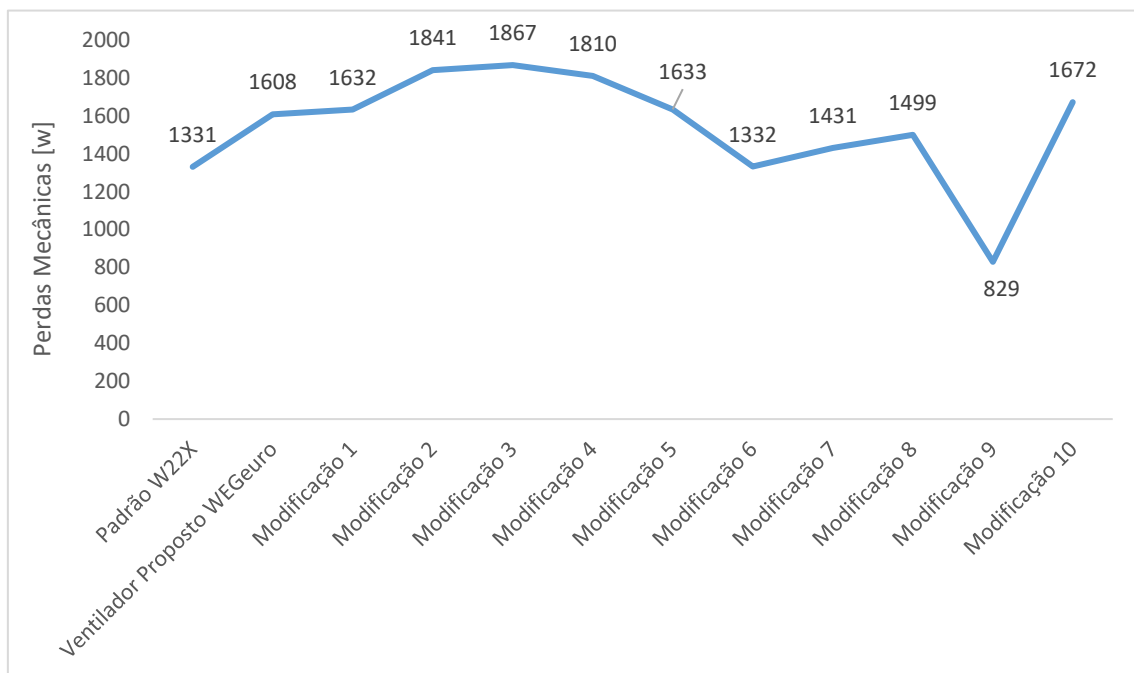


Gráfico 9 - Evolução das perdas mecânicas dos ventiladores

Atingida a alteração que se traduziu em mais vantagens para a ventilação segue-se a descrição dos resultados obtidos com esta modificação.

Primeiramente é importante observar a nova proposta de ventilador para a gama W22XdT com as alterações efetuadas (Ver Figura 80).

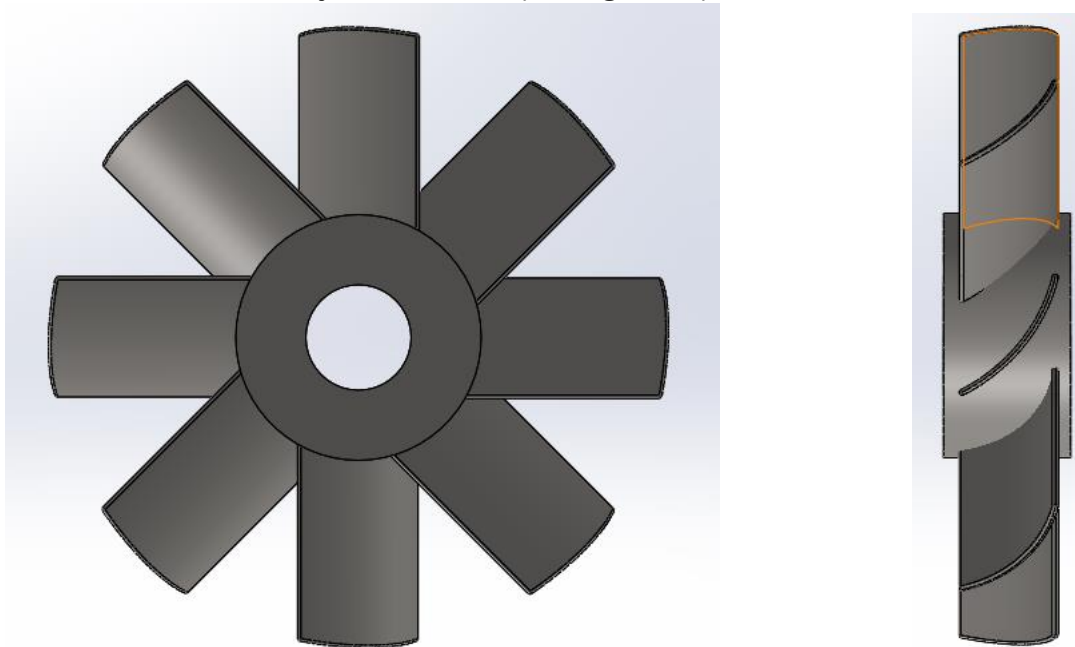


Figura 80 - Nova proposta de ventilador para a gama W22XdT

Estabelecendo uma comparação da proposta atual com o ventilador proposto pela WEGeuro, Figura 78, é possível verificar semelhanças entre ambos uma vez que os dois contêm o mesmo número e perfil de pás, sendo a principal alteração ao nível da geometria geral do ventilador mais precisamente no diâmetro do cubo.

Como é possível verificar, apesar das semelhanças existentes as melhorias realizadas são efetivamente vantajosas para o desempenho do ventilador.

Na tabela seguinte, Tabela 42, é possível observar as características gerais do novo ventilador proposto:

Tabela 42 - Geometria geral da nova proposta de ventilador para a gama W22Xd

Característica	Valor
$d_T$	450 mm
$d_H$	175 mm
$n_B$	8 un.
$x_c$	105 mm

Na Tabela 43 é possível também observar os parâmetros utilizados nas pás do ventilador desenvolvido.

Tabela 43 - Parâmetros utilizados na nova proposta de ventilador para a gama W22XdT

Ângulo de base	Torção da pá	Varição da Corda
25°	0°	Não se aplica

Por conseguinte, é possível verificar melhorias significativas relativamente ao caudal volúmico do novo ventilador (Tabela 44), este permite um aumento de 54 % comparativamente ao ventilador proposto pela WEGeuro e um aumento de 30% relativamente ao ventilador padrão. Contudo, a nova proposta de ventilador apresenta um aumento das perdas mecânicas na ordem dos 26% em relação ao ventilador padrão do W22XdT, enquanto que comparado com a proposta da WEGeuro esse aumento é bem menor, na ordem dos 12%.

Tabela 44 - Melhorias do ventilador proposto face aos ventiladores da WEGeuro

	Nova Proposta de Ventilador	
	Caudal Volúmico	Perdas Mecânicas
Padrão W22XdT	30%	26%
Ventilador Proposto WEGeuro	54%	12%

Tabela 45 - Comparação de resultados numéricos entre os ventiladores

	Padrão W22XdT	Proposta WEGeuro	Nova proposta
Caudal Volúmico [m <sup>3</sup> /s]	1.29	1.09	1.68
Perdas Mecânicas [W]	1331	1499	1672

Em suma, após análise dos resultados obtidos é possível confirmar que a nova proposta apresenta um aumento considerável do caudal volúmico face aos ventiladores existentes, o que permitirá uma melhor refrigeração do ME, aumentando assim a sua vida útil. Em acrescento, é também possível verificar que ocorreu um aumento nas perdas mecânicas face aos dois ventiladores propostos. Apesar deste fator desfavorável,

vai de encontro às necessidades da empresa, uma vez que, o objetivo principal da mesma era o aumento do caudal mesmo que ocorresse um aumento nas perdas mecânicas.

Todas as simulações realizadas e que permitiram chegar a uma nova geometria de ventilador podem ser observadas no ANEXO 6 – Simulações realizadas.

### 3.3.5. Discussão

Finalizada a terceira e última etapa – Novo ventilador axial, conclui-se que foi alcançado o objetivo proposto com melhorias notáveis.

É importante realçar que existem uma série de parâmetros que influenciam o escoamento, o que por sua vez não permite a obter uma solução analítica e expedita da geometria ótima do ventilador. Como verificado pelo trabalho de diversos autores, esta geometria deve ser analisada e estudada numericamente realizando testes de diversas soluções e por conseguinte, deve-se efetuar ensaios experimentais de forma a validar os resultados obtidos. Assim sendo, para o alcance deste objetivo deve-se aperfeiçoar iterativamente a geometria do ventilador até obter uma solução que satisfaça as necessidades envolventes.

Nesta etapa, apesar de não estarem validadas experimentalmente as simulações realizadas, permitem comparar soluções de ventilação entre si, uma vez que os critérios de simulação usados em todas as simulações foram semelhantes.

Como proposta de trabalho futuro, considera-se importante realizar as seguintes ações:

- Na medida em que, a melhoria efetuada nesta etapa teve como base a redução do diâmetro do cubo,  $d_H$ , seria recomendável verificar o valor mínimo do respetivo diâmetro que não compromettesse a resistência mecânica do ventilador. Com esta análise seria possível obter melhores resultados, diminuindo o peso do ventilador, assim como melhorar o desempenho do mesmo.

- Realizar mais iterações a fim de aperfeiçoar a proposta efetuada.

Por fim, após análise dos resultados obtidos é fundamental identificar as melhorias que esta alteração traz para a organização:

- Redução do custo de fabrico do ventilador (redução do material despendido na produção);
- Aumento do caudal de ventilação (o que permite aumentar a refrigeração do ME);
- Redução do peso do ventilador e consecutivamente do ME.

Por outro lado, com esta alteração também se verifica uma desvantagem na sua utilização, mais precisamente, um aumento de perdas mecânicas na ventilação. Apesar

que, face ao ventilador desenvolvido pela WEGeuro apenas apresenta um aumento de 12%, o que por sua vez, vai de encontro com o requisito solicitado pela entidade (o aumento verificado não é significativo).

Em suma, verifica-se que a realização desta etapa arrecadou várias vantagens para a entidade acolhedora de estágio, dispondo de um novo ventilador axial com um melhor desempenho.

# CONCLUSÕES

4.1. Conclusões

4.2. Proposta de trabalhos futuros



## 4. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 4.1. Conclusões

Após a realização do presente projeto na WEGeuro no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica – Ramo Energia é possível confirmar que os três principais objetivos propostos foram alcançados.

O trabalho descrito na secção 3.1 – “Motores e seus ventiladores” permite consultar a informação de forma mais rápida no processo de seleção de ventiladores nos respetivos motores. Este processo facilita o trabalho dos colaboradores da WEGeuro, uma vez que, se torna mais fácil encontrar uma solução compatível para as diferentes necessidades, tendo em conta o conhecimento prévio do comportamento dos ventiladores nos diferentes motores.

Na secção 3.2 – “Implementação industrial da nova TD em ferro fundido para a gama W22Xd (WPT)” foi descrito o processo evolutivo do estudo e desenvolvimento da TD. Nesta etapa, foi encontrada a solução mais viável para esta questão permitindo uma acentuada redução de custos e redução do comprimento do ME. Ainda com esta alteração obteve-se melhorias na ventilação e no ruído final do ME. Referente à redução de custos, foi obtida uma redução de 76.59 % para a altura de eixo 315 e uma redução de 65.56 % para a altura de eixo 355.

No último objetivo deste projeto, presente na secção 3.3 – “Novo ventilador axial, foi alcançado uma nova proposta de ventilador com desempenhos superiores aos ventiladores existentes. É possível constatar uma melhoria de 54% no caudal volúmico quando comparada com a solução da WEGeuro.

Em suma, a realização deste estágio curricular foi uma mais-valia para ambas as partes, permitindo obter uma experiência realista do mercado de trabalho e contribuindo para o alcance de melhorias significativas na entidade e no desempenho dos colaboradores.

### 4.2. Proposta de trabalhos futuros

Após o término deste projeto de intervenção é importante refletir sobre todo o trabalho desenvolvido anteriormente. É também importante tomar consciência da continuidade que este trabalho requer, na medida em que existem sempre melhorias possíveis.

Na primeira etapa do projeto considera-se fundamental a continuação da elaboração da base de dados experimental já desenvolvida, de modo a obter mais informações do comportamento dos ventiladores nos respetivos motores. Com a realização deste complemento permitiria obter mais informação acerca dos ventiladores propostos pelo que seria uma fonte mais completa face aos produtos que disponibilizam. Tornaria também mais rápida a seleção dos ventiladores para as diferentes situações por parte das equipas de projeto.

Por outro lado, seria importante realizar uma atualização dos ventiladores padrão no sentido de optar por ventiladores menos dispendiosos e com melhores prestações. Esta redefinição permitiria uma solução mais eficiente de seleção de ventiladores.

Ainda nesta etapa, sugere-se a realização de um estudo da influência de algumas características dos ventiladores no seu comportamento como por exemplo a área de arrasto, diâmetro externo, largura, número de pás, entre outros. Este estudo seria uma mais-valia, no sentido em que tornaria mais fácil o dimensionamento de ventiladores no futuro.

Na segunda etapa do projeto é também possível averiguar algumas propostas para trabalho futuro que trariam mais-valias para a organização. Uma vez que apenas foi realizado o estudo das TDs para duas alturas de eixo, sugere-se um alargamento da sua atuação. Assim sendo, seria importante abranger a modificação da TD às restantes quatro alturas de eixo do motor W22Xd.

Por outro lado, com utilização desta TD sugere-se no futuro a alteração do molde da tampa traseira, de modo a evitar que sempre que se recorre à mesma seja necessária maquiná-la. Esta alteração permitirá uma redução de mão-de-obra a longo prazo.

Para além disso, seria proveitoso a realização de uma simulação estrutural em Ansys da proposta da tampa traseira maquinada, uma vez que, o motor W22Xd é utilizado em atmosferas altamente explosivas.

Seria também importante complementar o presente trabalho com um estudo do posicionamento do ventilador, uma vez que neste projeto foi realizada uma alteração ao veio tendo em conta o posicionamento dos ventiladores noutros motores existentes. Este estudo, permitiria encontrar a melhor posição para o ventilador e padronizar o comprimento do veio.

Por último, nesta etapa recomenda-se a realização de um estudo do escoamento em ANSYS CFX que incorpore todos os componentes que foram alvo de alteração, de forma a permitir obter uma visão mais detalhada sobre o comportamento global da máquina.

Na terceira e última parte também se consideraram algumas propostas para trabalhos a curto/longo prazo. Primeiramente sugere-se a continuação do estudo de uma nova geometria para o ventilador, uma vez que não foi obtida de forma direta uma geometria ótima do mesmo. Este tem que ser alvo de pequenas alterações a fim de se alcançar pequenas melhorias.

Um complemento ao trabalho desenvolvido seria a realização de uma simulação ao motor para o qual o ventilador foi desenvolvido. Desta forma, este procedimento permitiria retirar conclusões sobre o comportamento do motor com a proposta de ventilação.

Finalmente seria proveitoso a produção real do ventilador proposto, de forma a permitir a comparação dos resultados obtidos em simulação com os resultados reais. Este procedimento permitiria validar as simulações realizadas.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**

## 5. BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] “História | WEG.” [Online]. Available: <http://www.weg.net/institucional/BR/pt/history>. [Accessed: 16-Apr-2018].
- [2] “Fotos de Museu Weg - Yelp.” [Online]. Available: [https://www.yelp.com.br/biz\\_photos/museu-weg-jaraguá-do-sul?select=xzGgPkTegCUKxqYpkWfVBQ](https://www.yelp.com.br/biz_photos/museu-weg-jaraguá-do-sul?select=xzGgPkTegCUKxqYpkWfVBQ). [Accessed: 16-Apr-2018].
- [3] G. G. Correia, “Projecto Mecânico de Motores Eléctricos Totalmente Fechados com Ventilação Ventila Externa,” Faculdade de Engenharia do Porto, 2013.
- [4] “Brasileiros da WEG apostam na Europa a partir de Portugal | Empresa comprou fábrica à Efacec em 2002 | PÚBLICO,” 2003. [Online]. Available: <https://www.publico.pt/2003/07/17/economia/noticia/brasileiros-da-weg-apostam-na-europa-a-partir-de-portugal-1157639>. [Accessed: 30-Mar-2018].
- [5] “Fale Conosco | WEG.” [Online]. Available: [http://www.weg.net/institucional/PT/pt\\_PT/contact/contact-us](http://www.weg.net/institucional/PT/pt_PT/contact/contact-us). [Accessed: 30-Mar-2018].
- [6] “Fábrica de Santo Tirso da WEG é a maior do grupo na Europa - Jornal do Ave,” *J. do Ave*, 2018.
- [7] “Atmosferas Explosivas | WEG.” [Online]. Available: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Trifásico---Baixa-Tensão/Atmosferas-Explosivas/c/BR\\_MT\\_3PHASE\\_LV\\_HAZARDOUSLOCATION](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Trifásico---Baixa-Tensão/Atmosferas-Explosivas/c/BR_MT_3PHASE_LV_HAZARDOUSLOCATION). [Accessed: 31-Mar-2018].
- [8] “Operações WEG | WEG.” [Online]. Available: [http://www.weg.net/institucional/PT/pt\\_PT/weg-operations](http://www.weg.net/institucional/PT/pt_PT/weg-operations). [Accessed: 20-Aug-2018].
- [9] “Teoria dos motores eléctricos.” [Online]. Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAAVawAF/teoria-dos-motores-eletricos>. [Accessed: 16-Apr-2018].
- [10] Moacyr Sens, “Avanços tecnológicos nos motores eléctricos,” 2001. [Online]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-avancos-tecnologicos-nos-motores-eletricos-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>. [Accessed: 08-Apr-2018].
- [11] Vinicius de Almeida, “História da Eletricidade - Como surgiu a Eletricidade? Descubra aqui!” [Online]. Available: <http://portald Engenharia.com/historia-da-eletricidade/>. [Accessed: 07-Apr-2018].
- [12] “Motor Eléctrico.” [Online]. Available: <http://eletromotoresrevo.com.br/motor->

- eletrico/. [Accessed: 19-Apr-2018].
- [13] “W22Xd-Flameproof Motors Tube-cooled.”
- [14] Cassiano Antunes Cezário, “ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO AR EM MOTORES DE INDUÇÃO TOTALMENTE FECHADOS,” Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- [15] R. Akira Yamachita, “Determinação de perdas e rendimento em motores elétricos empregando termografia infravermelha,” Universidade Federal de Itajubá, 2013.
- [16] M. Verardi, “ANÁLISE DO ESCOAMENTO E DA GERAÇÃO DE RUÍDO NO SISTEMA DE VENTILAÇÃO EXTERNO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO,” Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [17] “Especificação do Motor Elétrico 2 Especificação de Motores Elétricos.”
- [18] J. Miguel Leal Rocha, “Projeto e Dimensionamento da Tampa de Ventilação de um Motor elétrico,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- [19] A. Advantage Staff, “Spotlight on Multiphysics,” *Volume 8 Issue 2*, pp. 12–13, 2014.
- [20] Ned Hémard, “B. A. C. (Before Air Conditioning),” 2009. [Online]. Available: [http://www.neworleansbar.org/uploads/files/BeforeA.C.8-5\\_000.pdf](http://www.neworleansbar.org/uploads/files/BeforeA.C.8-5_000.pdf). [Accessed: 17-Jun-2018].
- [21] M. J. Mcpherson, “Chapter 10 - Fans,” in *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, 1st ed., Springer Netherlands, Ed. Holanda, 1993.
- [22] T. L. M. Rodrigues, “Desenvolvimento de laboratório de ventilação para a realização de ensaios de performance e ruído de ventiladores,” Faculdade de Engenharia do Porto, 2017.
- [23] Bureau of Energy Efficiency, “Fans and Blowers,” in *Electrical Energy Equipment*, Saylor Academy, Ed. Washington, 2011, p. 93.
- [24] “Por que há diferentes tipos de ventiladores?” [Online]. Available: [http://www.ebmpapst.com.br/pt\\_br/info-center/newsletter/ebmpapst\\_informa/ebm\\_papst\\_informa\\_07/tecnologiasustentabilidade07\\_detail.html](http://www.ebmpapst.com.br/pt_br/info-center/newsletter/ebmpapst_informa/ebm_papst_informa_07/tecnologiasustentabilidade07_detail.html). [Accessed: 19-Jul-2018].
- [25] Pedro Maia, “Estudo e melhoria de ventiladores - W22XdT,” Maia, 2016.
- [26] “Pilot’s Web The Aviators’ Journal - Lift and Drag.” [Online]. Available: <http://www.pilotsworld.com/principle/lift.htm>.
- [27] Frank P. Bleier, *Fan Handbook: Selection, Application, and Design*. .
- [28] *BASIC GUIDELINES FOR PLASTIC CONVERSION OF METAL AXIAL FLOW FANS*. New Jersey, 2003.
- [29] Ivan T. Spasi, S. M. Milanovi, V. M. Uteri, and B. D. Nikoli, “Low-Pressure Reversible Axial Fan with Straight Profile Blades ... THERMAL SCIENCE,” vol. 16,

pp. 663–674, 2012.

[30] F. A. Castro, “Mecânica dos Fluidos Computacional,” 2014.



# ANEXOS

6.1. ANEXO 1 - Exemplos de TDs disponíveis na WEGeuro

6.2. ANEXO 2 - Ventiladores existentes WEGeuro

6.3. ANEXO 3 - Ensaio dos Ventiladores

6.4. ANEXO 4 - Ventiladores radiais em ferro fundido existentes na WEGeuro

6.5. ANEXO 5 - Alterações efetuadas no Motor W22Xd (WPT) 355 A/B para ensaiar a TD WMO

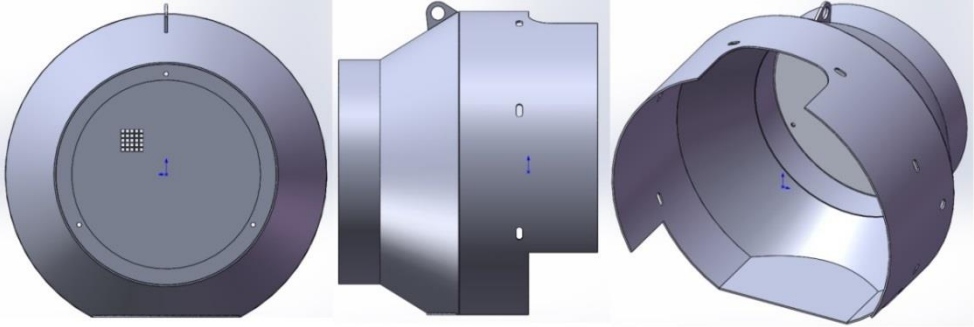

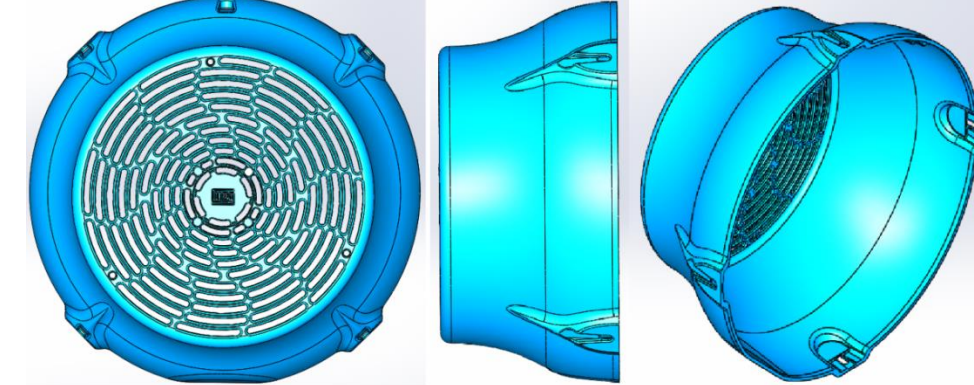
6.6. ANEXO 6 – Simulações realizadas



## 6.1. ANEXO 1 - Exemplos de TDs disponíveis na WEGeuro



Na WEGeuro da Maia encontram-se disponíveis as seguintes TDs e que serviram de base a este estudo.

TD	Representação das TDs
W22Xd Padrão	
w50	
W22	

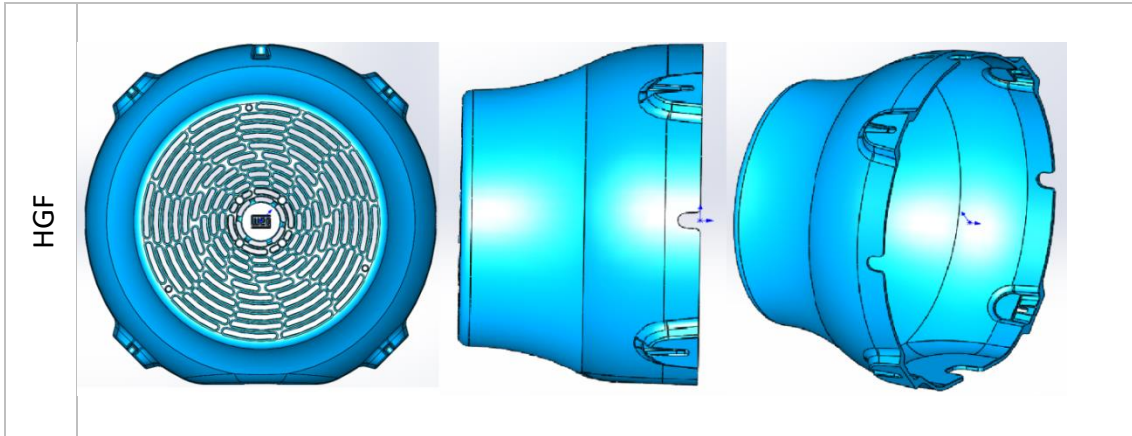


Figura 81 - TDs disponíveis na WEGeuro

## 6.2. ANEXO 2 - Ventiladores existentes WEGeuro



Padrao Opcional Especial	Descrição Ventilador	Material do Ventilador	Tipo	Item SAP	P&P	Diam, int,cubo vent,	Dve io	Ada pta dor	Axiais				Radiais				
									Den etor (ap	Dia m, Defl	Dia m, Int,	Dia m, Ext,	Nº pen as	Larg ura	Área Arrasto	Área Arrasto Total	
			Axial/ Radial								[m m]	[m m]		(m m)	(mm^2)	(mm^2)	
	315 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	12333847	12700791	65							380	7	190	14510	101572
	315 6P / 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	12334111	12701060	65							450	7	190	19018	133125
	355 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	12334204	12701955	65							380	7	220	17425	121975
	355 6P / 400 6P / 450 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	12334303	12702092	65							480	7	190	22054	154375
	355 8P / 400 8P / 450 6P / 450 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	12334448	12702093	65							530	7	160	21570	150991
	400 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	12216244	12702090	65							420	7	220	20140	140983
	315 / 355 / 400 / 450 W50	Aluminio (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIA L	10803507	10623553	75							470	13	95	????	????
P	315 SM 2P W22X	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	10740105	11129881	65							225	5	82	2521,9	12609,5
P	315L / 355 2P / 400 2P W22X	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	10685905	11129692	65							234	5	89	3381	16905
P	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	10147169	11129328	65							420	5	134	11336,6	56683
P	400 6P+ W22X	Ferro Fundido (FC-200)	RADIA L	10820155	11132053	65							511	5	126	10619,3	53096,45
P	450 4P / 500 4P W22X	AÇO CARBONO (SAE 1010/20 )	RADIA L	12879350	X	85							390	7	203	????	????
P	450 6P+ / 500 6P+ W22X	AÇO CARBONO (SAE 1010/20 )	RADIA L	12880371	X	85							490	7	203	????	????



	400 6P / 450 4P HGF	Aluminio (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	11028071	12579792	75								11304,7	146960,45
	400 6P / 450 4P HGF	Aluminio (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	10039969	12815290	75								12511,3	162646,38
	400 6P / 450 4P HGF	Aluminio (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	10834259	10766242	85								25428,5	127142,7
	<b>400 8P+ HGF</b>	<b>Ferro Fundido (FC-200)</b>	RADIAL	<b>10038779</b>	<b>11473954</b>	<b>79</b>								<b>32181</b>	<b>160905,1</b>
	400 8P+ HGF	Aluminio (Al Si10 Mg -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	10029537	10945765	85								????	????
	<b>450 6P+ HGF</b>	<b>Ferro Fundido (FC-200)</b>	RADIAL	<b>13623743</b>	<b>13656331</b>	<b>105</b>								<b>32181</b>	<b>160905,1</b>
	450 6P+ / 500 4P HGF	Aluminio (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	10039341	11187652	85								32181	160905
	500 6P HGF	Aluminio (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	10062002	10991594	85								????	????
	500 8P+ HGF		RADIAL	10177178	12544183										0

P	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	11026486	11132319	65								192	5	81	2949,92	14749,6
P	225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	10027822	10487365	65								212	9	66	??	#VALOR!
P	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	11026502	11132322	65								295	5	115	8142,72	40713,6
P	225 4P+ / 250 4P+ / 280 4P+ / 315 SM 4P+ / 315L 4P / 355 ML 4P W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	10026708	10486654	65								312	9	77	4795,55	43159,95
P	225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	11026503	11414075	65								216	5	83	3807,92	19039,6
P	225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	11026508	11132351	65								239	5	92	4795	23975
P	280 / 315 SM 2p W22	PLÁSTICO (POLIPROPILENO HOMOPOLIMERO)	RADIAL	10027823	10567785	65								222	9	66	???	#VALOR!





									Axiais				
Opcional Especial	Descrição Ventilador	Material do Ventilador	Tipo	Item SAP	P&P	int.cubo vent.	Dveio	Adaptador ?	Defletor (apenas nos axiais)	Diam. Defletor	Int. Vent.	Ext. vent.	Nº penas
			Axial/Radial								[mm]	[mm]	
	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12306584	12700655	65		65->	12330606	325	148	315	9
	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306744	12700790	65		65->	12330606	325	148	315	9
	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12216857	12701063	65		65->	12333355	362	148	352	9
	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306521	12701066	65		65->	12333355	362	148	352	9
	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12236857	12701957	65		65->	12191110 (400) / 12236927 (450)	384,5	148	375	9
	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306579	12702088	65		65->	12191110 (400) / 12236927 (450)	384,5	148	375	9
	450/500 KH 2P W22X	Alumínio (Al Si12-CUBO ACO INOX)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12920714		65		65->	13623080 (450) / 12902242 (500)	402	135	398	6
	450/500 KH 2P W22X	Alumínio (Al Si12-CUBO ACO INOX)	AXIAL HORÁRIO	13588083		65		65->	13623080 (450) / 12902242 (500)	402	135	398	6
	450/500 KH 2P W22X	Alumínio (Al Si12-CUBO ACO CARBONO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12920713		65		65->	13623080 (450) / 12902242 (500)	402	135	398	6
	450/500 KH 2P W22X	Alumínio (Al Si12-CUBO ACO CARBONO)	AXIAL HORÁRIO	12920715		65		65->	13623080 (450) / 12902242 (500)	402	135	398	6
	315 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10831323	11015633	65		65->	11111983	322	150	315	9
	315 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL HORÁRIO	10834210	11404002	65		65->	11111983	322	150	315	9
	355 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10834213	11053650	65		65->	11112015	370	145	355	8
	355 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL HORÁRIO	10834214	11551826	65		65->	11112015	370	145	355	8
	400 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10834232	11686608	65		65->	13421823	420	218	400	10
	400 2P (% Cobre reduzida) HGF	ALUMINIO (Al Si10 Mg -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12013201	12638610	65		65->	13421823	420	210	400	10
	400 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL HORÁRIO	10834235	11686609	65		65->	13421823	420	190	400	10
	450 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10289622	11700530	65		65->	-	-	220	450	9
	450 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	11564015	12460335	75		75->	-	-	220	450	9

	450 2P (% Cobre reduzida) HGF	ALUMINIO (Al Si10 Mg -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL ANTI- HORÁRIO	11692054	12863278	75		75->	-	-	220	450	9
	450 2P HGF	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 -CUBO FERRO FUNDIDO)	AXIAL HORÁRIO	10395096	11682925	70		70->	-	-	220	450	9
	500 2P HGF	ALUMINIO	AXIAL HORÁRIO	10533995	11682927	100		100->	-	-	220	500	9



### 6.3. ANEXO 3 - Ensaio dos Ventiladores





W50	400 L/K	2	60	E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem						265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																										
				E	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML קב / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem								234	5	89	3381	16905	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				E	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem									225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem									194	5	81	2117	10585	#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				P	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12236857	12701957	65	65	sem									148	375	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				P	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306579	12702088	65	65	sem									148	375	9			89,8766703		87	94	88	89	80	90,34086567	18,55	23	25	22	24	22	24	15	16	15	13	13	11,6	11450	11450		14663346		560
				O	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12216857	12701063	65	65	sem	12191110								148	352	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				O	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306521	12701066	65	65	sem									148	352	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				O	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12306584	12700655	65	65	sem									148	315	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				O	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306744	12700790	65	65	sem									148	315	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																							
W50	450 J/H	2	50	E	Sem Ventilador																		#NÚM!		0	#DIV/0!																										
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem								335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem								295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem								265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				E	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML קב / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem								234	5	89	3381	16905	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				E	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem								225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem								194	5	81	2117	10585	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
				P	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12236857	12701957	65	65	sem								148	375	9			83,3863716		80	87	82	81	67	83,48501224	14,275	21	17	17	19	17	19	10	9,6	11	12	9	10,2	10970	10970		14007437		616	
				P	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306579	12702088	65	65	sem								148	375	9			83,25069963		82	86	81	81	66	83,32811688	14,175	20	21	18	20	19	21	8,2	5,4	10	9,4	8,2	10,1	10710	10710		13293665		660	
				O	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12216857	12701063	65	65	sem	12236927							148	352	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																								
O	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306521	12701066	65	65	sem								148	352	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																												
O	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12306584	12700655	65	65	sem								148	315	9			#NÚM!		0	#DIV/0!																												
O	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306744	12700790	65	65	sem								148	315	9			82,4810564		81	86	80	80	67	82,60791511	10,54166667	16	1	15	15	17	17	5	9	7	8,5	8	8	8835	8835		13963506		550					
W50	315+1/G	4	50	E	Sem Ventilador																		#NÚM!		0	#DIV/0!																										
				O	400 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12216244	12702090	65	65	sem							420	7	220			20140	140983	#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				E	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10147169	11129328	65	65	sem							420	5	134	11336,3	56681,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																									
				E	315 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10395009	10631224	75	65	75->65							400	5	200	15308,71	76543,55	#NÚM!		0	#DIV/0!																									
				O	355 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334204	12701955	65	65	sem							380	7	220			17425	121975	#NÚM!		0	#DIV/0!																							
				P	315 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12333847	12700791	65	65	sem							380	7	190	14510	101572		77,33012665		80	82	81	80	78	80,79710596	16,20833333	26	23	21	24	20	24	10	9,6	13	11	3,4	10	3619	3619		13857307		187	
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem							335	5	93	5866	29329	#NÚM!		0	#DIV/0!																									
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem							295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																									
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem							265	5	102	5107	25534	#NÚM!		0	#DIV/0!																									
				W50	355+1/H	4	50	E	Sem Ventilador																		#NÚM!		0	#DIV/0!																						
E	355 6P+ / 400 4P HGF	CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL					10834229	10827240	85	65	85->65						450	5	200			????	????	81,88026979		82	85	85	80	84,05140731	19,56666667	22	21	25	25	25	30	17	17	14	14	17	9,5	3795	3795		14345928		280		
O	315 6P / 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL					12334111	12701060	65	65	sem						450	7	190			19018	133125	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
O	400 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL					12216244	12702090	65	65	sem						420	7	220			20140	140983	#NÚM!		0	#DIV/0!																								
E	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL					10147169	11129328	65	65	sem						420	5	134	11336,3	56681,5	#NÚM!		0	#DIV/0!																										





Gam a	Carcaça	Nr. Polos	Fre q.	Padrão Opcional Especial	Descrição Ventilador	Material do Ventilador	Tipo	Item SAP	P&P	Diam. int.cubo vent.	Dveio	Adap tado r?	Axiais		Diam. Defl	Dia m. Ext.	Nº pen as	Larg ura	Área Arrasto	Radiais		Ruído Motor	Ruído (dB)					Ruído Médio	Caudal Médio	Caudal (m/s)								PU med ido	P ventila dor	Peras Internas pondera	Laogo SAP Motor	Potên cia																
													Derretido (apenas nos axiais)	Diam. Defl						Área Total	Área Motor		LA	LOA	LD	LE	RF			17	18	19	20	21	22	23	24						25	26	27	28	[W]	[W]	[K]		KW							
HGF			60	315 CDF	2	E	Sem Ventilador														#NÚM!	80	89	82	83	75	0	#DIV/0!																														
						E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem							335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem							295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem							265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem							234	5	89	3381	16905	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem							225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem							194	5	81	2117	10585	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						P	315 2P HGF	ALUMÍNIO (AL S16 Cu4 -CUBO FERRO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10831323	11015633	65	65	sem							150	315	9				84,24448553					84,75450333	11,75833333	14	15	17	17	17	17	17,1	7,1	7,5	7,2	7,2	7,4	7,5	4043	4043		??????	220							
						P	315 2P HGF	ALUMÍNIO (AL S16 Cu4 -CUBO FERRO)	AXIAL HORÁRIO	10834210	11404002	65	65	>	1111983	322					150	315	9									0	#DIV/0!																									
						E	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12306584	12700655	65	65	sem							148	315	9									0	#DIV/0!																									
E	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306744	12700790	65	65	sem							148	315	9									0	#DIV/0!																															
HGF			50	355 CDF	2	E	Sem Ventilador														#NÚM!	81	90	82	83	76	0	#DIV/0!																														
						E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem							335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem							295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem							265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem							234	5	89	3381	16905	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem							225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem							194	5	81	2117	10585	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						P	355 2P HGF	ALUMÍNIO (AL S16 Cu4 -CUBO FERRO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10834213	11053650	65	65	sem							145	355	8				85,13309244					85,62261111	13,19166667	17	18	21	19	18	18	7,9	8,1	8,2	7,5	7,3	7,7	6860	6860			14225010	400							
						P	355 2P HGF	ALUMÍNIO (AL S16 Cu4 -CUBO FERRO)	AXIAL HORÁRIO	10834214	11551826	65	65	>	11112015	370					145	355	8									0	#DIV/0!																									
						E	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12216857	12701063	65	65	sem							148	352	9									0	#DIV/0!																									
E	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306521	12701066	65	65	sem							148	352	9									0	#DIV/0!																															
E	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	12306584	12700655	65	65	sem							148	315	9									0	#DIV/0!																															
E	315 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORÁRIO	12306744	12700790	65	65	sem							148	315	9									0	#DIV/0!																															
HGF			50	400 LAB	2	E	Sem Ventilador														#NÚM!	86	96	87	87	69	0	#DIV/0!																														
						E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem							335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem							295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem							265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem							234	5	89	3381	16905	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem							225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem							194	5	81	2117	10585	#NÚM!					0	#DIV/0!																										
						P	400 2P HGF	ALUMÍNIO (AL S16 Cu4 -CUBO FERRO)	AXIAL ANTI-HORÁRIO	10834232	11686608	65	65	sem							218	400	10				91,13840274					91,16675096																										
						P	400 2P HGF	ALUMÍNIO (AL S16 Cu4 -CUBO FERRO)	AXIAL HORÁRIO	10834235	11686609	65																																														







W22X	355 AB	2	50	E	Sem Ventilador e Capot																	65,90387875	69	67	70	69	66	68,96250526	#DIV/0!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4925	628		???	200									
				O	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X	Aluminio (Al Si10 Mg-CUBO Al)	RADIAL	10088543	11132357	65	65	sem			420	5	134	11336,3	56681,5												82,36169725	6,341666667	8,6	8,5	8,2	9,5	8,5	4	5,7	4,8	4,4	4,5	4,8	4,6	4526	-399		????	250								
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem					335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!										0	#DIV/0!																								
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem					295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem					265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				P	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											86,29463656	12,45	17	17	19	16	18	13	9,4	7	7,8	11	11	4	4654	-271		???	315						
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											82,79488434	6,5	9,5	5,5	6	8,5	10	4,5	6	4	7,5	5,5	6,5	4,5	4925	0		????	200						
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem					225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem					194	5	81	2117	10585	#NÚM!											0	#DIV/0!																											
W22X	355 AB	2	60	E	Sem Ventilador																								0	#DIV/0!																											
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem					335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!										0	#DIV/0!																								
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem					295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem					265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				P	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											85,39963186	10,16666667	15	11	11	14	15	11	7,7	7,4	7,2	8,1	8,3	7,1	5089	5089		14426213	355						
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											85,39963186	10,16666667	15	11	11	14	15	11	7,7	7,4	7,2	8,1	8,3	7,1	5089	5089		14426213	355						
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem					225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem					194	5	81	2117	10585	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
W22X	355 ML	2	50	E	Sem Ventilador																								0	#DIV/0!																											
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem					335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!										0	#DIV/0!																								
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem					295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem					265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				P	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											81,68997831	9,475	11	10	13	14	12	12	6,3	5,1	8,3	6,8	8,1	6,9	3455	3455		????	160						
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											81,68997831	9,475	11	10	13	14	12	12	6,3	5,1	8,3	6,8	8,1	6,9	3455	3455		????	160						
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem					225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem					194	5	81	2117	10585	#NÚM!											76,09965189	5,066666667	7,6	3,4	8,1	7,1	7,6	2,3	4,2	2,7	5,3	4,9	4,6	3	4213	4213		????	250						
W22X	400 G	2	50	E	Sem Ventilador																								0	#DIV/0!																											
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem					335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!										0	#DIV/0!																								
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem					295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!											0	#DIV/0!																							
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem					265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!											86,10076384	11,54166667	16	17	15	14	14	13	9	9	8,5	9	7	7	7100	7100		14230312	450						
				O	400G 2P W22X	Aluminio (Al Si10 Mg-CUBO Al)	RADIAL	13283623	11988437	90	65	89,5->65					290	7	88	2565,87	17961,1	#NÚM!											87,68150776	9,591666667	12	12	13	13	16	9,8	6,2	6,5	7,3	6,3	7,3	5,4	6073	6073		14279599	530						
				O	315 2p / 355 2P / 400 2P W22X	Aluminio (Al Si10 Mg-CUBO Al)	RADIAL	10813755	11132320	65	65	sem					234	5	89	3381	16905	#NÚM!											80,10374714	7,016666667	11	10	10	10	10	5,6	4,7	5,2	4,8	4,6	4,7	2,7	8259	8259		????	560						

			O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem			225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!			0	#DIV/0!																										
			E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem			194	5	81	2117	10585	#NÚM!			0	#DIV/0!																										
W22X	400 LU	2	50	E	Sem Ventilador														#NÚM!			0	#DIV/0!																										
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem			335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!			0	#DIV/0!																									
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem			295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!			0	#DIV/0!																									
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem			265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!			0	#DIV/0!																									
				O	315 2p / 355 2P / 400 2P W22X	Aluminio (Al Si10 Mg-CUBO AI)	RADIAL	10813755	11132320	65	65	sem			234	5	89	3381	16905	81,91247072				77	86	80	80	72	5,733333333	7,2	8,2	7,5	7,7	8	4	5	4,6	4,4	5,2	4,5	2,5	6524	6524	????	400				
				P	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem			234	5	89	3381	16905	80,88336987				80	81	81	83	72	81,45925384	7,036363636	12	???	7	7,9	11	10	5,2	7,2	2,9	3,6	5,3	5,1	4732	4732	????	325			
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem			225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem			194	5	81	2117	10585	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
				E	Sem Ventilador																	#NÚM!			0	#DIV/0!																							
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem			335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem			295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem			265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
O	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem			234	5	89	3381	16905	84,99043318						0	#DIV/0!																										
O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem			225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem			194	5	81	2117	10585	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
W22X	400 LU	2	60	E	Sem Ventilador														#NÚM!			0	#DIV/0!																										
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem			335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!			0	#DIV/0!																									
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem			295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!			0	#DIV/0!																									
				E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem			265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!			0	#DIV/0!																									
				P	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem			234	5	89	3381	16905	84,99043318						0	#DIV/0!																						
				O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem			225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
				E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem			194	5	81	2117	10585	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
				E	Sem Ventilador																	#NÚM!			0	#DIV/0!																							
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem			335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
				E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem			295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem			265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
O	315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10685905	11129692	65	65	sem			234	5	89	3381	16905	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
O	315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740105	11129881	65	65	sem			225	5	82	2521,9	12609,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
E	225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10557682	11391489	65	65	sem			194	5	81	2117	10585	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
W22X	450 KH	2	50	P	450/500 KH 2P W22X	Aluminio (Al Si12-CUBO ACO INOX)	AXIAL ANTI-HORARIO	12920714			65	65	sem			135	398	6	79,92146088					75	84	78	78	67	80,12812451	14,79166667	18	17	16	17	17	17	12	12	13	10	12	6289	6289	14157131	250				
				P	450/500 KH 2P W22X	Aluminio (Al Si12-CUBO ACO INOX)	AXIAL HORARIO	13588083			65	65	sem			135	398	6	84,26780434								81	89	81	82	77	84,98349908	11,825	15	14	13	15	11	14	13	9,7	9	11	9,4	9,1	8399	8399	13775216	630
				P	450/500 KH 2P W22X	Aluminio (Al Si12-CUBO ACO CARBONO)	AXIAL ANTI-HORARIO	12920713			65	65->			135	398				#NÚM!																													
				P	450/500 KH 2P W22X	Aluminio (Al Si12-CUBO ACO CARBONO)	AXIAL HORARIO	12920715			65	65	sem			135	398	6	84,77752507								77	90	80	80	64	84,81128045	9,69166667	12	14	8,3	14	14	12	8,7	5,6	4,1	8,8	7,4	8,2	6801	6289	14335697	590
				E	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORARIO	12236857	12701957	65	65	sem	13623080	402				148	375	9			#NÚM!			0	#DIV/0!																						
				E	400 / 450 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORARIO	12306579	12702088	65	65	sem						148	375	9			#NÚM!			0	#DIV/0!																						
				E	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL ANTI-HORARIO	12216857	12701063	65	65	sem						148	352	9			#NÚM!			0	#DIV/0!																						
				E	355 2P W50	Ferro Fundido (FC-200)	AXIAL HORARIO	12306521	12701066	65	65	sem						148	352	9			#NÚM!			0	#DIV/0!																						
				E	Sem Ventilador																		#NÚM!			0	#DIV/0!																						
				E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem			335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!						0	#DIV/0!																						
E	225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10130108	11362910	65	65	sem			295	5	114	7085,9	35429,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										
E	355 AB 2P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	11176571	11362915	65	65	sem			265	5	102	5106,7	25533,5	#NÚM!						0	#DIV/0!																										





			E	315 6P / 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334111	12701060	65	65	sem			450	7	190	19018	133125	#NÚM!	0	#DIV/O!																							
			E	355 6P+ / 400 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10173113	12273137	85	65	85->65			450	5	200	18068,2	90340,8	#NÚM!	0	#DIV/O!																							
			E	355 6P / 400 6P / 450 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334303	12702092	65	65	sem			480	7	190	22054	154375	#NÚM!	0	#DIV/O!																							
W22X	400 G	4	E	Sem Ventilador															#NÚM!	0	#DIV/O!																							
			E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem				335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			E	315 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12333847	12700791	65	65	sem				380	7	190	14510	101572	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			E	355 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334204	12701955	65	65	sem				380	7	220	17425	121975	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			E	315 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10395009	10631224	75	65	75->65				400	5	200	15308,7	76543,6	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			O	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X	Aluminio (Al Si10 Mg - CUBO Al)	RADIAL	10088543	11132357	65	65	sem				420	5	134	11336,3	56681,5	80,99468768	#NÚM!	77	83	81	81	65	81,11017344	13,96666667	17	20	22	11	8,4	8,5	18	19	19	8,4	8	9,1	7441	7441	13844514	630
			P	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10147169	11129328	65	65	sem				420	5	134	11336,3	56681,5	81,94949532	#NÚM!	77	84	83	82	67	82,07159527	9,19166667	11	15	11	15	16	8,5	8	6	5	8	4,8	3	6086	6086	????	315
			E	400 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12216244	12702090	65	65	sem				420	7	220	20140	140983		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			E	315 6P / 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334111	12701060	65	65	sem				450	7	190	19018	133125		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			E	355 6P+ / 400 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10173113	12273137	85	65	85->65				450	5	200	18068,2	90340,8		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			E	355 6P / 400 6P / 450 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334303	12702092	65	65	sem				480	7	190	22054	154375		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			W22X	400 LI	4	E	Sem Ventilador															#NÚM!	0	#DIV/O!																				
E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem				335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
E	315 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	12333847	12700791	65	65	sem				380	7	190	14510	101572	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
E	355 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	12334204	12701955	65	65	sem				380	7	220	17425	121975	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
E	315 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	10395009	10631224	75	65	75->65				400	5	200	15308,7	76543,6	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
P	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	10147169	11129328	65	65	sem				420	5	134	11336,3	56681,5	79,86826298	#NÚM!	79	83	81	81	75	81,11838792	12,55	16	17	19	17	17	8,8	9,1	10	11	9,9	9,5	6,2	5715	5715	????	290
E	400 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	12216244	12702090	65	65	sem				420	7	220	20140	140983		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
E	315 6P / 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	12334111	12701060	65	65	sem				450	7	190	19018	133125		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
E	355 6P+ / 400 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	10173113	12273137	85	65	85->65				450	5	200	18068,2	90340,8		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
E	355 6P / 400 6P / 450 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)				RADIAL	12334303	12702092	65	65	sem				480	7	190	22054	154375		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
W22X	400 LI	4				E	Sem Ventilador															#NÚM!	0	#DIV/O!																				
						E	280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10740118	11362914	65	65	sem				335	5	93	5865,8	29329	#NÚM!	0	#DIV/O!																			
			E	315 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12333847	12700791	65	65	sem				380	7	190	14510	101572	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			E	355 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334204	12701955	65	65	sem				380	7	220	17425	121975	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			E	315 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10395009	10631224	75	65	75->65				400	5	200	15308,7	76543,6	#NÚM!	0	#DIV/O!																						
			P	315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10147169	11129328	65	65	sem				420	5	134	11336,3	56681,5	85,98296223	#NÚM!	83	88	86	86	76	86,36343668	14,09166667	8,5	22	21	17	24	12	8,3	8,2	11	12	14	11	6878	6878	????	315
			E	400 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12216244	12702090	65	65	sem				420	7	220	20140	140983		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			E	315 6P / 8P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334111	12701060	65	65	sem				450	7	190	19018	133125		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			E	355 6P+ / 400 4P HGF	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	10173113	12273137	85	65	85->65				450	5	200	18068,2	90340,8		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
			E	355 6P / 400 6P / 450 4P W50	Ferro Fundido (FC-200)	RADIAL	12334303	12702092	65	65	sem				480	7	190	22054	154375		#NÚM!	0	#DIV/O!																					
						E	Sem Ventilador	ALUMINIO (Al Si6 Cu4 - CUBO FERRO FUNDIDO)	RADIAL	10039339		85	85	sem			500	5	230	????	????	79,94254081	#NÚM!	0	#DIV/O!																			
						E	400 HGF															79,94254081	#NÚM!	80,83046868	9,583333333	12	10	10	12	14	14	8	8	6	6,5	7,5	8	8490	8490	???	625			



#### 6.4. ANEXO 4 - Ventiladores radiais em ferro fundido existentes na WEGeuro



<b>Descrição Ventilador</b>
225 2-4P / 250 2-4P / 280 2P / 315 SM 2P W22
315 SM 2P W22X , 225 4P / 280 2P / 315 SM 2P / 315 L 2P W22
315L / 355 2P / 400 2P W22X , 225 6P / 250 4-6P / 280 4P / 315 SM 2-4P / 315 L 2P / 355 ML 2P / 355 AB 2P W22
355 AB 2P W22
225 4-8P / 250 4-8P / 280 4-6P / 315 SM 4P / 315 L 4P W22
280 4-8P / 315 SM 4-8P / 315 L 4P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22
315 4P W50
355 4P W50
315 4P HGF
315 4P+ / 355 4P+ / 400 4P W22X, 315 L 4-8P / 355 ML 4P / 355 AB 4P W22
400 4P W50
315 6P / 8P W50
355 6P+ / 400 4P HGF
355 6P / 400 6P / 450 4P W50
400 6P+ W22X , 315 ML / 355 AB 6-8P W22
355 8P / 400 8P / 450 6P / 450 8P W50
450 6P+ HGF
400 8P+ HGF

Figura 82 - Ventiladores radiais existentes na WEGeuro



6.5. ANEXO 5 - Alterações efetuadas no Motor W22Xd (WPT) 355 A/B  
para ensaiar a TD WMO



### 6.5.1. Alteração da Tampa Traseira W22Xd (WPT) 355

Na Figura 83 é possível observar a tampa traseira antes e depois de ser maquinada a fim de tornar viável a utilização da TD do W22Xd (WMO). Nesta é possível verificar as alterações realizadas, nomeadamente:

- \* As castanhas foram maquinadas em altura e foi realizado um Fillet na zona que de interferência com a TD;
- \* O furo das castanhas foi recuado para que o parafuso de fixação das tampas traseiras não colide-se com a TD;
- \* Foram retirados os reforços da parte exterior da Tampa Traseira de modo a permitir uma melhor passagem de ar.

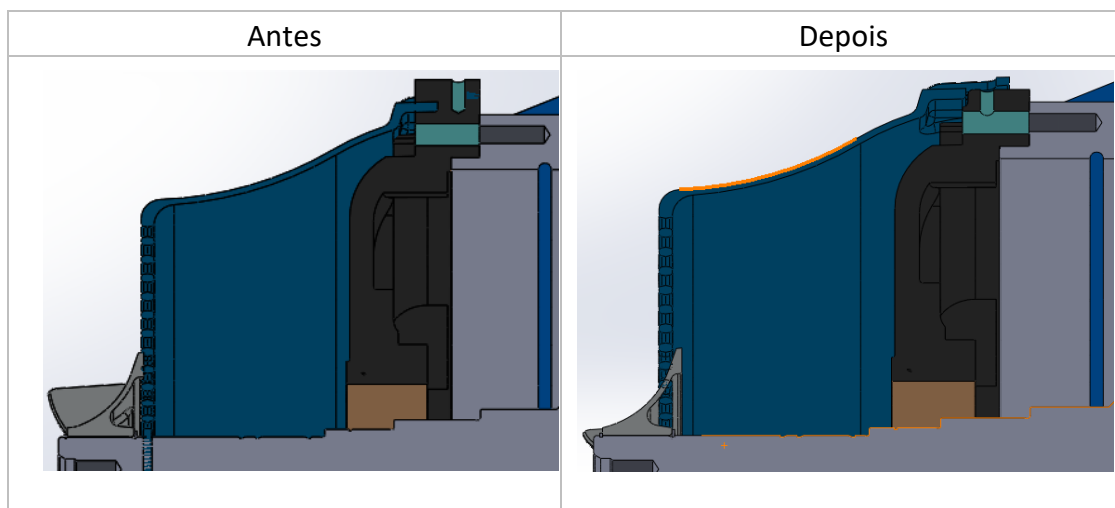


Figura 83 - Antes e depois da Tampa Traseira ser maquinada

A segunda alteração, mencionada anteriormente, causou um desvio da TD tal como se pode observar na Figura 84.

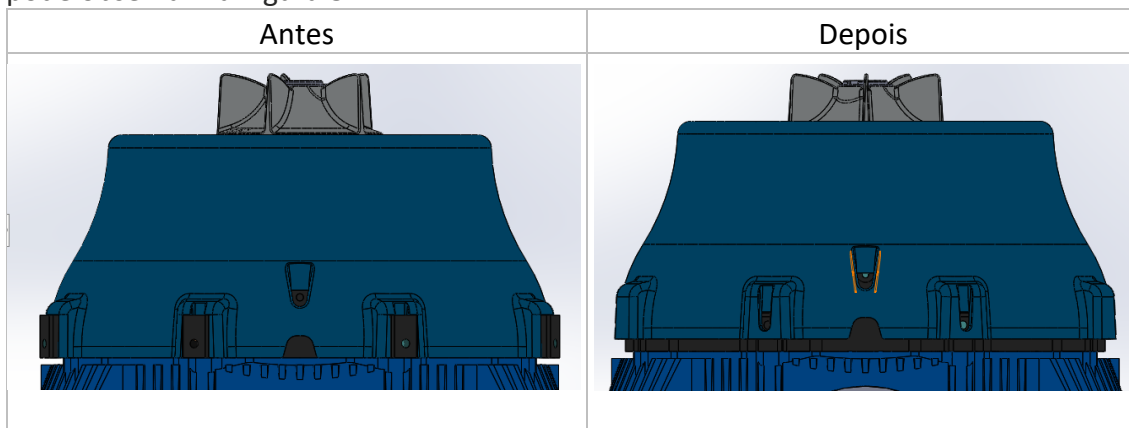


Figura 84 - Desvio da TD após o recuo do Furo das Castanhas da TD

Por fim, observando a Figura 85, pode-se verificar os elementos que foram eliminados da superfície da tampa traseira, assim como, os locais onde a mesma foi maquinada.

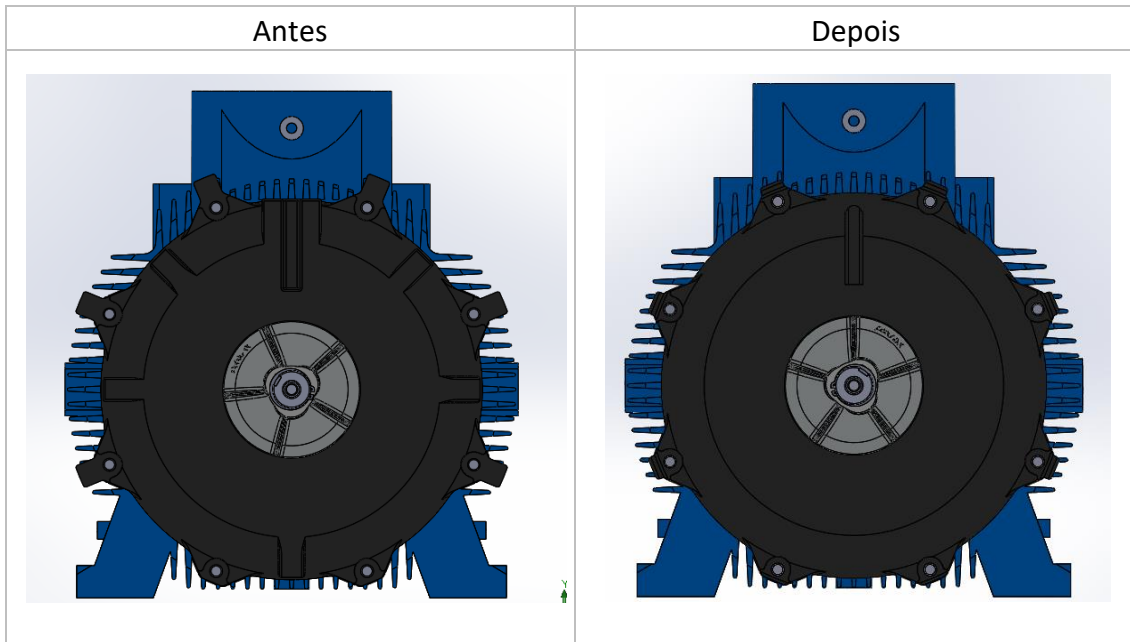


Figura 85 - Tampa traseira maquinada

### 6.5.2. Alteração do Veio do Motor W22Xd (WPT) 355

Para além da posição original, o veio foi alterado de maneira a alocar outras duas posições do ventilador:

- Na primeira posição utilizou-se a mesma linha de pensamento aquando da modificação da TD de Leal (2014), usou-se o ventilador com maior cota P, ou seja, o ventilador 295x114 mm (Tabela 7) em que esta era de 32 mm. Com este ventilador o objetivo consistiu em diminuir a distância da cota H de 79 mm para 5 mm, uma vez que, era a distância mais baixa utilizada pelos motores que foram alvo de estudo mais precisamente no motor W22 (ver Tabela 8). Desta forma, o ventilador padrão daquele motor, 234x89 mm, ficou posicionado a uma cota H de 29 mm e uma cota F de 81.54 mm (Ver Figura 88). Relativamente ao ventilador com pior cota O, ventilador 420x134 mm, no caso de ser necessário fica posicionado a uma Cota F de 58.24 mm e uma Cota H de 6 mm (Figura 89).

- Para definir a segunda posição do ventilador foi apenas considerado o ventilador padrão para o motor em questão (ventilador 234x89 mm), o qual ficou posicionado a uma Cota F de 96.54 mm e uma Cota H de 14 mm (Figura 90). No caso de o ventilador padrão não cumprir com os requisitos de arrefecimento será necessário optar por outra opção de ventilação. Nesta situação caso o ventilador tenha dimensões superiores ao espaço disponível na posição 2, o mesmo deve ser colocado na posição 1.

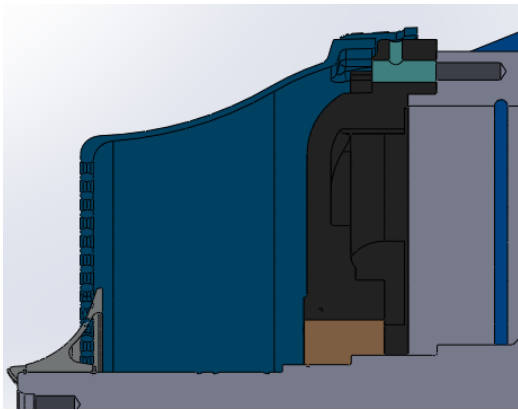


Figura 86 - Posição Original do Ventilador

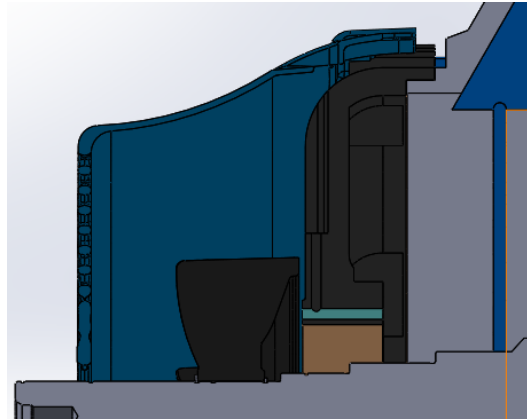


Figura 87 - Posição 1 (Ventilador 295x114, Cota P=32mm, Cota H=5mm)

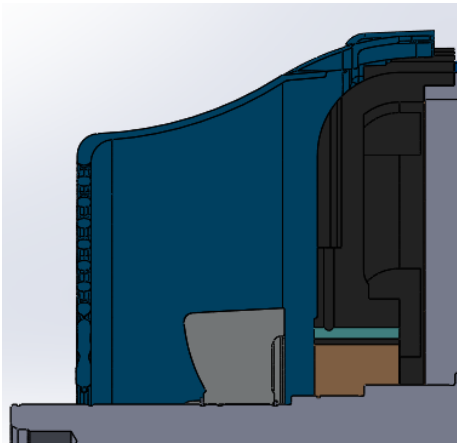


Figura 88 - Posição 1 (Ventilador Correto 234x89, Cota P = 9 mm, Cota H = 29 mm, Cota F = 81.54 mm)

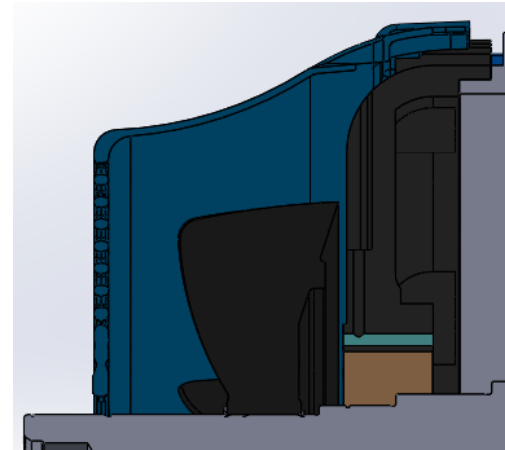


Figura 89 - Posição 1 (Ventilador 420x134, Cota P = 31 mm, Cota H = 6 mm, Cota F = 58.24 mm)

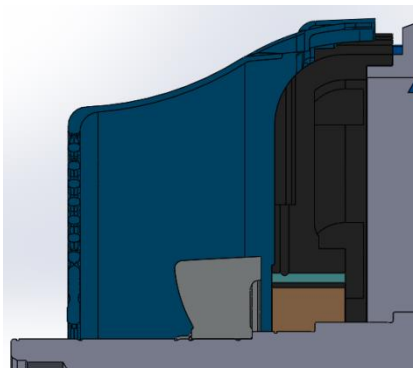


Figura 90 - Posição 2 (Ventilador Correto 234x89, Cota P = 9mm, Cota H = 14 mm, Cota F = 96.54 mm)

Na Figura 91, é possível observar o aspeto do veio do motor após ser maquinado. Nesta situação é possível utilizar a chaveta padrão para todas as posições do ventilador, sendo que da posição 1 para a posição 2 a mesma terá que rodar 180° e vice-versa.

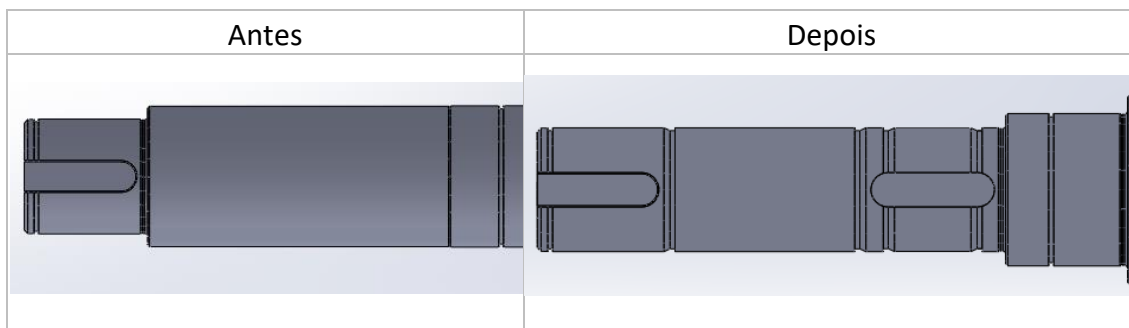


Figura 91 - Antes e depois do Veio ser maquinado

### 6.5.3. Alteração da TD do Motor W22Xd (WMO) 355

Na Figura 92 é também possível observar a sobreposição do Veio do Motor com a TD do W22Xd (WMO). Deste modo será necessário efetuar um furo na zona central da TD para permitir a passagem do veio pela mesma e assim permitir a realização dos ensaios.

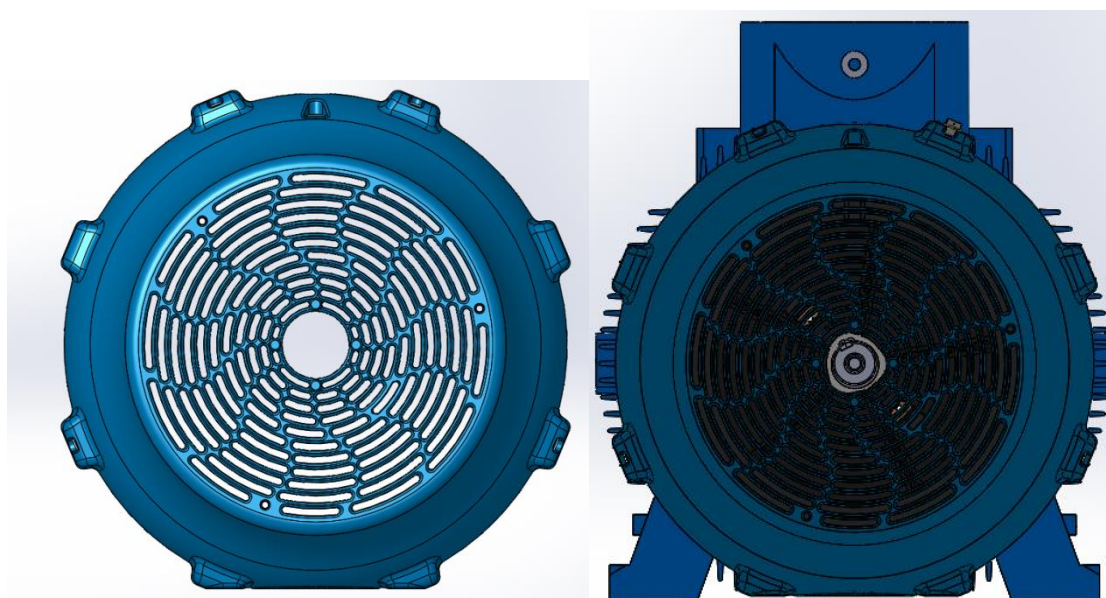
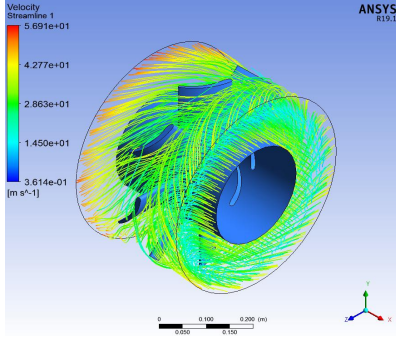
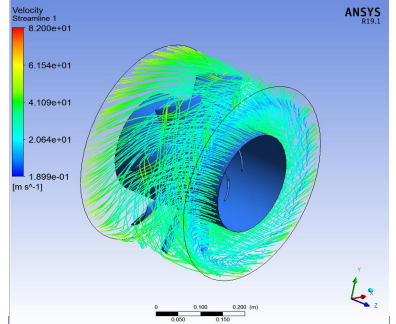
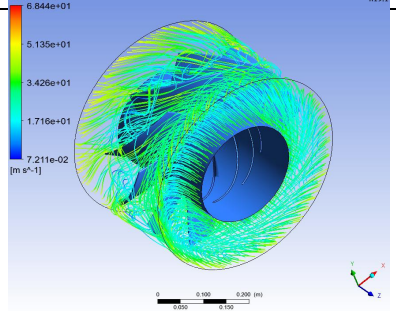
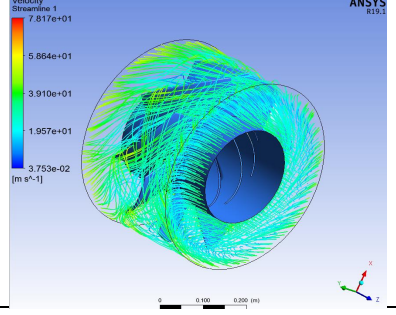


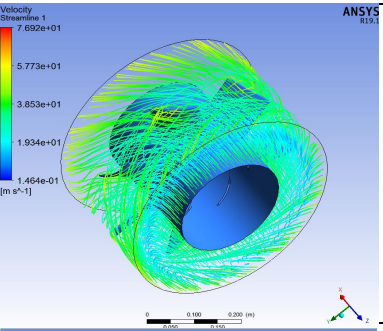
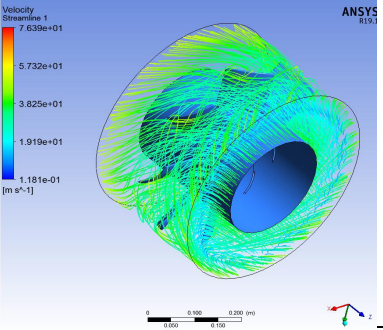
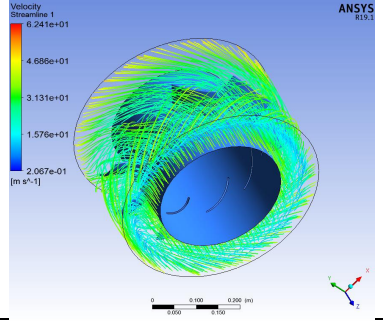
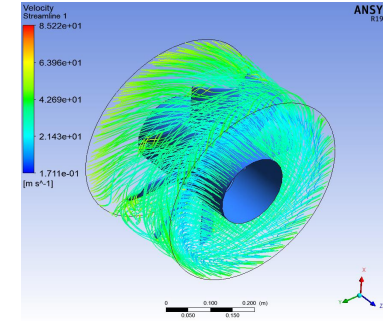
Figura 92 - Alteração da TD do Motor W22Xd (WMO) 355

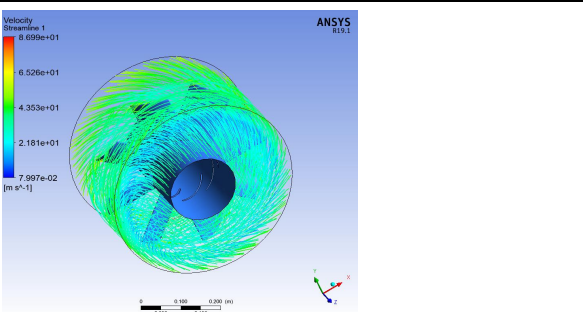
## 6.6. ANEXO 6 – Simulações realizadas



Simulação	Modelo ventilador	Descrição	Caudal	Caudal	Velocidade média	Binário	Consumo	Linhas de Corrente
			[kg/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[N.m]	[W]	
R.1	Padrão W22X	Perfil - Desconhecido Pás: 8 Twist: nenhum Base angle: 30° Corda: constante	1,67007	1,29	9,52	4,24	1331	
R.14	Ventilador Proposto WEGeuro	Chapa única curvada Pás: 9 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante	1,41348	1,09	8,06	5,12	1608	
R.7	Modificação 1	Chapa única curvada Pás: 9 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante com o dobro do comprimento (e o cubo com o dobro de largura)	1,31	1,01	7,47	5,20	1632	
R.8	Modificação 2	Chapa única curvada Pás: 8 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante com o dobro do comprimento (e o cubo com o dobro de largura)	1,3346	1,03	7,61	5,86	1841	

R.9	Modificação 3	<p>Chapa única curvada Pás: 7 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante com o dobro do comprimento (e o cubo com o dobro de largura)</p>	1,43174	1,11	8,16	5,94	1867	
R,10	Modificação 4	<p>Chapa única curvada Pás: 6 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante com o dobro do comprimento (e o cubo com o dobro de largura)</p>	1,4553	1,13	8,30	5,76	1810	
R.11	Modificação 5	<p>Chapa única curvada Pás: 5 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante com o dobro do comprimento (e o cubo com o dobro de diâmetro e largura)</p>	1,49119	1,15	8,50	5,20	1633	
R,16	Modificação 6	<p>Chapa única curvada Pás: 6 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante</p>	1,30098	1,01	7,42	4,24	1332	

R.12	Modificação 7	Chapa única curvada Pás: 7 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante	1,35193	1,05	7,71	4,55	1431	
R,15	Modificação 8	Chapa única curvada Pás: 8 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante	1,4039	1,09	8,01	4,77	<u>1499</u>	
R18	Modificação 9	Chapa única curvada Pás: 9 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante, diametro do cubo 295	0,950337	0,74	5,42	2,64	829	
R19	Modificação 10	Chapa única curvada Pás: 8 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante, diametro do cubo 175	2,17073	1,68	12,38	5,32	1672	

R21	Modificação 13 (MODELO SST)	Chapa única curvada Pás: 8 Twist: nenhum Base angle: 25° Corda: constante, diametro do cubo 175	2,18291	1,69	12,45	5,28	1659		
-----	--------------------------------	--	---------	------	-------	------	------	--	--