



Estudo e caracterização das perdas de carga num sistema de recuperação com roda térmica de uma UTA

Joel Castro

UMinho | 2022

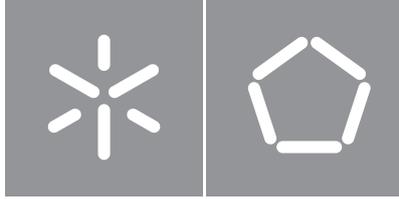


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Joel Afonso da Silva e Castro

Estudo e caracterização das perdas de carga num sistema de recuperação com roda térmica de uma UTA

Outubro de 2022



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Joel Afonso da Silva e Castro

**Estudo e caracterização das perdas
de carga num sistema de recuperação
com roda térmica de uma UTA**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)

Professor Doutor Pedro Lobarinhas

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal 4.0 Internacional
CC BY-NC-SA 4.0**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.pt>

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Pedro Lobarinhas, dedico o meu sincero obrigado por ter aceitado orientar-me na realização da dissertação, pela motivação, aconselhamento, pela boa disposição, pela disponibilidade e rapidez de resposta, e pelas oportunidades de desenvolvimento pessoal e profissional que me forneceu.

Agradeço ao Engenheiro Pedro Lapa, a oportunidade de realizar a minha dissertação em ambiente empresarial, na empresa EVAC – Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A.

Ao Engenheiro Miguel Jesus, o meu orientador de estágio dentro da empresa, pela disponibilidade e apoio prestado sempre que foi necessário de modo a não perder o rumo e conseguir realizar o trabalho dentro do tempo estipulado.

A todos os colaboradores da EVAC, a quem deixo desde já os meus agradecimentos pela colaboração e ajuda fornecida, conseguindo crescer como profissional da Engenharia, desafiando os meus conhecimentos e colocando em prática a minha formação.

Por fim, mas não menos importante, à minha família e aos meus amigos pelo apoio incondicional que me deram ao longo desta jornada, e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e sucesso deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Joel Castro

«There is only one thing that makes a dream impossible to achieve: the fear of failure.» - Paulo Coelho

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, trinta e um de outubro de dois mil e vinte e dois.

Resumo

Estudo e caracterização das perdas de carga num sistema de recuperação com roda térmica de uma UTA

A recuperação de energia (calor) do ar de exaustão de um sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), é hoje fundamental numa procura contínua de eficiência energética dos sistemas térmicos, sendo aliás obrigatória, em muitas situações, no âmbito de diversas normas e legislação em vigor, nacionais e europeias. Este projeto foi concebido para estudar e caracterizar de forma detalhada a perda de carga no escoamento do ar nesta secção da Unidade de Tratamento de Ar (UTA) (conjunto recuperador + bypass), quer no circuito de insuflação, quer no circuito de extração, procurando melhor entender e caracterizar os principais aspetos que a influenciam. Numa UTA, a utilização de registos de caudal de ar no recuperador de calor, promove um *bypass* a este componente, diminuindo o consumo de energia associado à ventilação. Esta dissertação foi realizada no âmbito de um estágio curricular na empresa EVAC – Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A., tendo sido facultado pela mesma, uma instalação composta, em resumo, por uma UTA, por um troço de uma conduta, quatro transdutores de pressão e um caudalímetro (flow nozzle), de modo a ser possível a realização de ensaios práticos. Este projeto de investigação visa, numa primeira fase, recolher os valores obtidos nos ensaios, onde foram utilizadas e analisadas três chapas, que têm como objetivo simular o comportamento de uma roda térmica e de um registo de caudal na instalação, com diferentes geometrias para diferentes caudais. Todos os cálculos foram efetuados numa folha de cálculo do *software Excel* desenvolvido para o efeito. Por fim, encontram-se as análises e comparações destes vários ensaios, referentes às três chapas, bem como uma apreciação mais crítica dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado; Eficiência Energética; Perda de Carga; Unidade de Tratamento de Ar; Recuperador de Calor.

Abstract

Study and characterization of pressure drop in a thermal wheel heat recovery system of an AHU

The recovery of energy (heat) from a Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) systems is now essential in the ongoing quest for thermal systems' energy efficiency and is also frequently required by a range of national and european standards and legislation. In order to better understand and define the key factors that influence the pressure drop in the air flow in this section of the Air Handling Unit (AHU) (recover + bypass), this project was designed to study and characterize the pressure drop in detail. The utilization of airflow registers in a AHU induces a heat eecovery *bypass* reducing the energy consumption associated with ventilation. This dissertation was done as part of a curricular internship at EVAC - Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A. To perform practical tests, EVAC provided an installation consisting of an Air Handling Unit (AHU), a duct section, four pressure transducers, and a flow nozzle. This research project intends, in a first phase, to gather the values obtained in the tests, where three plates were analyzed, which attempt to simulate the behaviour of a thermal wheel and a flow register in the installation, with different geometries for different flow rates. A spreadsheet made specifically for this purpose using the *Excel program*, was used for all calculations. Finally, we have analyses and correlations of these three distinct study cases, referring to the three plates, as well as a more critical assessment of the results.

Keywords: Heating, Ventilation, and Air Conditioning; Energy Efficiency; Pressure Drop; Air Handling Unit; Heat Recovery.

Índice

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xv
Siglas	xvi
Símbolos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Apresentação da Empresa	2
1.1.1 Obras de Referência	3
1.2 Enquadramento Temático	4
1.3 Objetivos e Perguntas de Investigação	4
1.4 Calendarização	5
1.5 Organização da Dissertação	6
2 Unidades de Tratamento de Ar: Estado da Arte	7
2.1 Unidades de Tratamento de Ar: Evolução histórica	7
2.2 Unidades de Tratamento de Ar: Caracterização e Aplicabilidade	9
2.3 Unidades de Tratamento de Ar: Constituição	10
2.3.1 Módulo de Ventilação	10
2.3.2 Módulo de Baterias	12
2.3.3 Módulo de Recuperação de Calor	12
2.3.4 Módulo de Filtragem	14
2.3.5 Módulo de Registo de Caudal	18
2.3.6 Módulo de Atenuação Acústica	18
2.3.7 Outros Módulos	19
2.4 Normas, legislação e regulamentos	20
2.4.1 Normas	21
2.4.2 Legislação	21

2.4.3	Regulamentos e Certificações	22
2.5	Diferentes gamas de Unidades de Tratamento de Ar produzidas pela EVAC	25
2.5.1	Unidade de Tratamento de Ar - Gama UTA	25
2.5.2	Unidade de Tratamento de Ar Higiénica Certificada - Gama UTA-H	26
2.5.3	Unidade de Tratamento de Ar - Gama UTA-RP/RR/RB	26
2.5.4	Unidade de Tratamento de Ar Compacta de Baixo Perfil - UC	27
2.5.5	Unidade de Tratamento de Ar de Recuperação de Baixo Perfil - URT	27
2.5.6	Unidade de Tratamento de Ar Higiénica Monobloco - MBH	28
2.5.7	Unidade de Tratamento de Ar Desumificadoras - UD	29
3	Caso de Estudo: Estudo e caracterização das perdas de carga num sistema de recuperação com roda térmica de uma UTA	30
3.1	Apresentação do local de estudo	31
3.2	Descrição da Instalação/Modelo Experimental	31
3.3	Metodologia do Estudo	34
4	Ensaio Experimental e Interpretação de Resultados	37
4.1	Metodologia do Ensaio	38
4.2	Ensaio com a Chapa Perfurada	41
4.3	Ensaio com a Chapa N°1	44
4.3.1	Chapa N°1 - 1ª Situação	44
4.3.2	Chapa N°1 - 2ª Situação	47
4.3.3	Chapa N°1 - 3ª Situação	49
4.3.4	Chapa N°1 - 4ª Situação	51
4.4	Ensaio com a Chapa N°2	53
4.4.1	Chapa N°2 - 1ª Situação	54
4.4.2	Chapa N°2 - 2ª Situação	56
4.4.3	Chapa N°2 - 3ª Situação	58
4.4.4	Chapa N°2 - 4ª Situação	60
4.5	Ensaio com a Chapa N°3	62
4.5.1	Chapa N°3 - 1ª Situação	63
4.5.2	Chapa N°3 - 2ª Situação	65
4.5.3	Chapa N°3 - 3ª Situação	67
4.5.4	Chapa N°3 - 4ª Situação	69
4.6	Interpretação dos Resultados	71
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	76

5.1	Conclusões	76
5.2	Desafios Futuros	77
	Bibliografia	78
	Apêndices	80
A	Folhas de Cálculo do Excel	80
A.1	Ensaio da Chapa Perfurada	81
A.2	Ensaio da Chapa N°1	85
	Anexos	101
I	Folha de Características da UTA	101
I.1	Folha de Seleção da UTA	102
I.2	Folha de Seleção do Ventilador	105

Lista de Figuras

1	Evolução da EVAC desde a sua fundação. Adaptada de [8].	2
2	Aplicações Convencionais de AVAC. (a) Igreja da Santíssima Trindade, Santuário de Fátima. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 32 Unidades de Tratamento de Ar (Fátima, Portugal). (b) Centro Comercial Palácio do Gelo. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 96 Unidades de Tratamento de Ar (Viseu, Portugal). (c) Hotel Tikida Beach. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 4 Unidades de Tratamento de Ar (Agadir, Marrocos). (d) Antofagasta Centro Comercial e Casino. 54 Unidades de Tratamento de Ar, (Chile).	3
3	Aplicações Higiénicas. (a) Hospital Sr.º do Bonfim. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 44 Unidades de Tratamento de Ar (Vila do Conde, Portugal). (b) Instituto Português de Oncologia - IPO. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 10 Unidades de Tratamento de Ar (Coimbra, Portugal).	3
4	Aplicações Especiais. (a) Fábrica da Bosch, 2 Salas Limpas. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 4 Unidades de Tratamento de Ar (Braga, Portugal). (b) Fábrica da Honda. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 2 Unidades de Tratamento de Ar (Manaus, Brasil).	4
5	Willis Carrier ao lado da sua primeira invenção [9].	7
6	Unidade de Tratamento de Ar da EVAC.	9
7	Principais módulos constituintes de uma UTA.	10
8	Ventiladores Centrífugos com diferentes tipos de transmissão. (a) Ventilador Centrífugo, Transmissão por Correia. (b) Ventilador Centrífugo, Transmissão Direta "Plug-Fan". (c) Ventilador Centrífugo, Transmissão Direta "Plug-Fan", motor EC (electronically commutated).	11
9	Baterias de arrefecimento e aquecimento. Adaptada de [12].	12
10	Tipos de Recuperadores de Calor. (a) Recuperador de Placas de Fluxos Cruzados. (b) Recuperador de Roda Térmica. (c) Recuperador de Baterias. Adaptada de [12].	13
11	Tipos de Filtros. (a) Filtros de Sacos Rígidos. (b) Filtros Absolutos. (c) Filtros de Sacos. (d) Filtros de Sacos de Bolsas. Adaptada de [13].	14

12	(a) Classificação dos filtros consoante o tamanho das partículas de acordo com a norma ISO 16890:2016. (b) Ilustração do tamanho das partículas. Adaptada de [12].	15
13	Tipos de Registo de Caudal. (a) Registo de Caudal controlado manualmente. (b) Registo de Caudal controlado automaticamente.	18
14	Representação esquemática dos atenuadores acústicos.	19
15	Exemplos de módulos/elementos que se podem encontrar numa UTA. (a) Humidificador Evaporativo com Bomba. (b) Humidificador por Ultrassons. (c) Manómetros de Pressão.	19
16	Legislação e normas aplicáveis às Unidade de Tratamento de Ars (UTAs). Adaptada da [12]	20
17	Aspeto da etiqueta da certificação EUROVENT. Adaptada da [12].	23
18	Especificações do Regulamento (EU) 1253/2014 para UVNR. Adaptada da [12],[26].	25
19	Aspeto exterior de um equipamento da Gama UTA. Adaptada da [7].	26
20	Aspeto exterior de um equipamento da Gama UTA-H. Adaptada da [7].	26
21	Aspeto exterior de um equipamento da Gama UTA-RP/RR/RB. Adaptada da [7].	27
22	Aspeto exterior de um equipamento da Gama UC. Adaptada da [7].	27
23	Aspeto exterior de um equipamento da Gama URT. Adaptada da [7].	28
24	Aspeto exterior de um equipamento da Gama MBH. Adaptada da [7].	28
25	Aspeto exterior de um equipamento da Gama UD. Adaptada da [7].	29
26	Área de trabalho na EVAC, onde se realizou o estudo.	31
27	UTA Experimental facultada pela EVAC. (a) Vista frontal. (b) Vista traseira.	32
28	(a) Vista parcial da instalação. (b) Modelação 3D da Instalação.	33
29	Características da chapa perfurada usada para tentar uniformizar o escoamento.	34
30	Aspeto das chapas usadas nos ensaios experimentais. (a) Chapa N°1. (b) Chapa N°2. (c) Chapa N°3.	34
31	Representação detalhada da instalação experimental. 1 - Zona onde se introduziu a chapa perfurada. 2,4 - Tomadas de pressão. 3 - Zona de estudo onde se ensaiaram as diferentes chapas. 5 - dispositivo <i>DPT-FLOW</i>	35
32	Esquema 3D da instalação, com identificação da posição das tomadas de pressão de cada transdutor.	36
33	Esquema 2D da instalação, com identificação da posição das tomadas de pressão de cada transdutor, bem como a distância entre elas.	36
34	Representação esquemática das diferentes situações a ensaiar.	38
35	Exemplos dos valores obtidos no 1º ensaio da chapa perfurada para os diferentes caudais.	39
36	Valores obtidos no 1º ensaio da chapa perfurada para os diferentes caudais.	40
37	Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	40
38	Equipamento OMNIPORT 20.	41

39	Varição da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar.	43
40	Varição da perda de carga entre as tomas de pressão TP2 e TP1, entre as quais está localizada a chapa perfurada, em função da velocidade do ar.	43
41	Características da Chapa N°1. (a) Vista frontal da chapa N°1. (b) Desenho 2D da Chapa N°1.	44
42	1ª Situação do ensaio da chapa N°1	45
43	Varição da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar.	46
44	Varição da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 1ª Situação	46
45	2ª Situação do ensaio da chapa N°1	47
46	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	48
47	Varição da perda de carga observada entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 2ª Situação.	48
48	3ª Situação do ensaio da chapa N°1	49
49	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	50
50	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 3ª Situação.	50
51	4ª Situação do ensaio da chapa N°1	51
52	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	52
53	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 4ª Situação.	52
54	Varição da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, nas diferentes situações de estudo.	53
55	Características da Chapa N°2. (a) Vista frontal da chapa N°2. (b) Desenho 2D da Chapa N°2.	53
56	1ª Situação do ensaio da chapa N°2	54
57	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	55
58	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 1ª Situação.	55
59	2ª Situação do ensaio da chapa N°2	56
60	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	57
61	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 2ª Situação.	57
62	3ª Situação do ensaio da chapa N°2	58
63	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	59
64	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 3ª Situação.	59
65	4ª Situação do ensaio da chapa N°2	60

66	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	61
67	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 4ª Situação.	61
68	Varição da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, nas diferentes situações de estudo.	62
69	Características da Chapa N°3. (a) Vista frontal da chapa N°3. (b) Desenho 2D da Chapa N°3.	62
70	1ª Situação do ensaio da chapa N°3.	63
71	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	64
72	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 1ª Situação.	64
73	2ª Situação do ensaio da chapa N°3.	65
74	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	66
75	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 2ª Situação.	66
76	3ª Situação do ensaio da chapa N°3.	67
77	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	68
78	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 3ª Situação.	68
79	4ª Situação do ensaio da chapa N°3.	69
80	Varição da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.	70
81	Varição da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 4ª Situação.	70
82	Varição da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, nas diferentes situações de estudo.	71
83	Varição da Perda de Carga nas situações estudadas, para as diferentes chapas.	72
84	Varição do coeficiente de Perda de Carga, K, nas situações estudadas, para as diferentes chapas.	74
85	1º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.1.	81
86	1º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.2.	82
87	2º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.1.	83
88	2º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.2.	84
89	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.1.	85
90	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.2.	86
91	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.1.	87
92	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.2.	88

93	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.1.	89
94	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.2.	90
95	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.1.	91
96	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.2.	92
97	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 3 - Pág.1.	93
98	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 3 - Pág.2.	94
99	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 3 - Pág.1.	95
100	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 3 - Pág.2.	96
101	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 4 - Pág.1.	97
102	1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 4 - Pág.2.	98
103	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 4 - Pág.1.	99
104	2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 4 - Pág.2.	100
105	Folha de Seleção da UTA - Pág.1.	102
106	Folha de Seleção da UTA - Pág.2.	103
107	Folha de Seleção da UTA - Pág.3.	104
108	Folha de Seleção do Ventilador - Pág.1.	105
109	Folha de Seleção do Ventilador - Pág.2.	106
110	Folha de Seleção do Ventilador - Pág.3.	107
111	Folha de Seleção do Ventilador - Pág.4.	108
112	Folha de Seleção do Ventilador - Pág.5.	109

Lista de Tabelas

1	Calendarização das etapas realizadas ao longo deste projeto	6
2	Tipos de ventiladores de acordo com a norma EN 13053. (a) Classificação da velocidade interior na caixa (b) Classificação da potência absorvida. Adaptada da [11]	11
3	Classes dos Recuperadores de Calor de acordo com a norma EN 13053. Adaptada da [11]	14
4	Classificação dos Filtros de Ar, consoante a capacidade de retenção de partículas e a sua eficiência. Adaptada da [15].	16
5	Classificação dos Filtros de Ar, consoante a sua eficiência. Adaptada da [16].	16
6	Classificação dos Filtros de Ar, consoante o nível de qualidade do ar interior desejável e a qualidade do ar exterior registada de acordo com a norma EN 13779. Adaptada da [17]. .	17
7	Requisitos das normas EN 1886 e EN 13053. Adaptada da [12].	21
8	Imposições impostas pelo SCE, de acordo com a Portaria 138-I/2021. Adaptada da [12] e [18].	22
9	Dimensões das diferentes chapas utilizadas nos ensaios experimentais.	35
10	Valores obtidos no ensaio da chapa perfurada	42
11	Valores obtidos no ensaio da chapa nº1, com registo de caudal aberto e sem a roda térmica.	45
12	Valores obtidos no ensaio da chapa nº1, na 2º situação.	47
13	Valores obtidos no ensaio da chapa nº1, na 3º situação.	49
14	Valores obtidos no ensaio da chapa nº1, na 4º situação.	51
15	Valores obtidos no ensaio da chapa nº2, na 1º situação.	54
16	Valores obtidos no ensaio da chapa nº2, na 2º situação.	56
17	Valores obtidos no ensaio da chapa nº2, na 3º situação.	58
18	Valores obtidos no ensaio da chapa nº2, na 4º situação.	60
19	Valores obtidos no ensaio da chapa nº3, na 1º situação.	63
20	Valores obtidos no ensaio da chapa nº3, na 2º situação.	65
21	Valores obtidos no ensaio da chapa nº3, na 3º situação.	67
22	Valores obtidos no ensaio da chapa nº3, na 4º situação.	69

Siglas

AHU *Air Handling Unit*

ASHRAE *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*

AVAC Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CFD *Computacional Fluid Dynamic*

EPA *Efficiency Particulate Air Filters*

EVAC Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A.

HEPA *High Efficiency Particulate Air Filters*

HVAC *Heating, Ventilation and Air Conditioning*

IDA *Indoor Air*

ODA *Outdoor Air*

PI Perguntas de Investigação

QAI Qualidade do Ar Interior

SCE Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

SFP *Specific Fan Power*

ULPA *Ultra Low Penetration Air Filters*

UTA Unidade de Tratamento de Ar

UTA-H Unidade de Tratamento de Ar Higiénica

UTAN Unidade de Tratamento de Ar Novo

UVNR Unidades de Ventilação Não Residenciais

Símbolos

A - área de passagem

D - diâmetro

Δ - variação

Δh - perda de carga

g - aceleração gravítica

K - coeficiente de perda de carga

P - perda de carga

π - número Pi

Q - caudal

U - velocidade de escoamento

Introdução

Esta dissertação apresenta a investigação realizada no âmbito do meu Mestrado em Engenharia Mecânica, especialidade em Tecnologias Energéticas e Ambientais, tendo sido realizada no âmbito de um estágio curricular na empresa [Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A. \(EVAC\)](#), sediada em Penafiel.

A [Qualidade do Ar Interior \(QAI\)](#) é hoje fundamental, sendo um dos principais alvos de investigação, devido ao tempo de permanência dos ocupantes em locais fechados, que se estima ser superior a 90% do tempo diário [1]. O ar puro é um requisito fundamental para a saúde e o bem-estar humano [2]. Vários estudos referem que, o nível de poluição do ar no interior dos edifícios é muitas vezes bastante pior do que o do ar exterior [3, 4].

Um dos objetivos dos sistemas de climatização (por outras palavras, de um sistema de [Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado \(AVAC\)](#)) é efetuar a renovação do ar no espaço. Estes sistemas apresentam elevados valores de consumo energético a nível mundial, o que implica preocupações crescentes em termos económicos e ambientais. Assim, a necessidade de melhorar a eficiência energética nestes sistemas obriga à utilização de equipamentos de elevado desempenho e de mecanismos de controlo mais sofisticados. Sendo as [UTAs](#) um dos mais importantes equipamentos utilizados num sistema de [AVAC](#), é fundamental o estudo e otimização permanente do seu funcionamento e dos seus componentes, no sentido de contribuir para uma melhor eficiência energética do sistema de climatização no seu todo.

Neste contexto, esta dissertação de mestrado tem por base a realização de um projeto que visa estudar e caracterizar de forma detalhada a perda de carga no escoamento do ar na secção da [UTA](#) (conjunto recuperador + *bypass*), quer no circuito de insuflação, quer no circuito de extração, procurando melhor entender e caracterizar os principais aspetos que a influenciam, com o objetivo de se obter uma melhor eficiência energética.

1.1 Apresentação da Empresa

A **EVAC**, fundada em 1984 pelo Eng^o Zeferino Lapa, tem como principal atividade a conceção e fabrico de equipamentos de ventilação e climatização “à medida”, com especial dedicação às **UTAs**. Depois de consolidar a satisfação das necessidades do mercado português, a **EVAC** também apresenta um processo de internacionalização consolidado, com expansão para outros mercados e países, nomeadamente para a Europa, América do Sul e Norte de África. De salientar, que foi o primeiro fabricante nacional com certificação **EUROVENT**, sendo um dos primeiros fabricantes europeus com esta importante certificação, continuando a ser um elemento ativo na **EUROVENT**, como membro do grupo de trabalho “PG-AHU” dedicado às Unidades de Tratamento de Ar. Desde 2001 que a **EVAC** tem o seu sistema de gestão de qualidade implementado e certificado pela norma **ISO 9001**. Em 2015, a entidade alemã **TÜV NORD** atribuiu a certificação higiénica à versão **Unidade de Tratamento de Ar Higiénica (UTA-H)**, segundo a norma **DIN 1946-4 [5]** e **VDI 6022-1 [6]**, colocando a **EVAC** num restrito grupo de fabricantes detentores desta prestigiada certificação [7]. De seguida está representada na Figura 1, um cronograma onde é possível observar a evolução da **EVAC** ao longo destes anos, bem como todas as certificações que possuem e as respetivas normas.

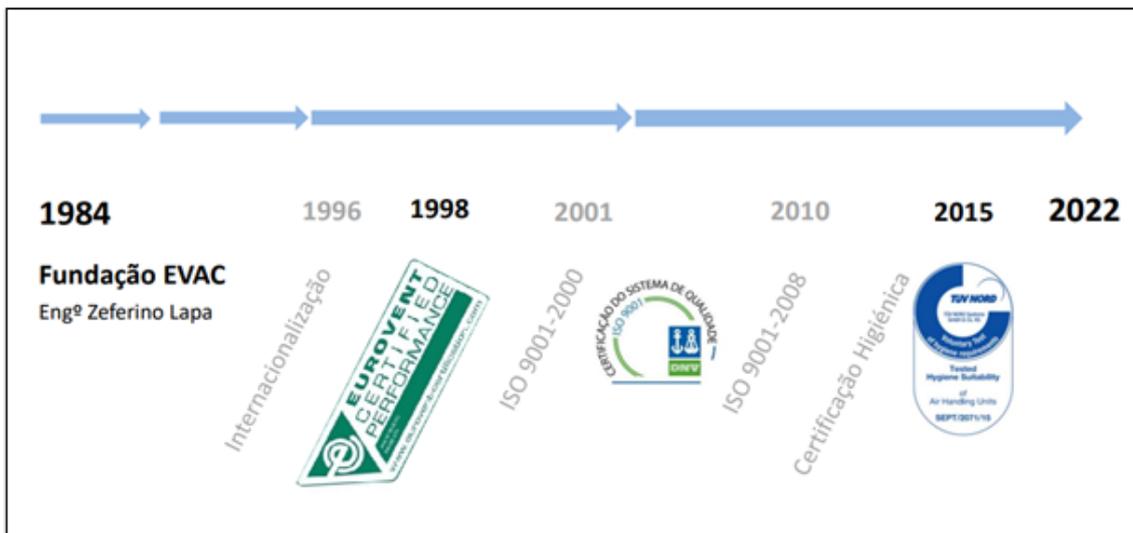


Figura 1: Evolução da EVAC desde a sua fundação. Adaptada de [8].

1.1.1 Obras de Referência

Podemos observar nas seguintes figuras algumas das aplicações convencionais de AVAC (Figura 2), aplicações higiénicas (Figura 3) e aplicações especiais (Figura 4) que a EVAC apresenta no seu portefólio.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2: Aplicações Convencionais de AVAC. (a) Igreja da Santíssima Trindade, Santuário de Fátima. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 32 Unidades de Tratamento de Ar (Fátima, Portugal). (b) Centro Comercial Palácio do Gelo. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 96 Unidades de Tratamento de Ar (Viseu, Portugal). (c) Hotel Tikida Beach. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 4 Unidades de Tratamento de Ar (Agadir, Marrocos). (d) Antofagasta Centro Comercial e Casino. 54 Unidades de Tratamento de Ar, (Chile).



(a)



(b)

Figura 3: Aplicações Higiénicas. (a) Hospital Sr.º do Bonfim. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 44 Unidades de Tratamento de Ar (Vila do Conde, Portugal). (b) Instituto Português de Oncologia - IPO. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 10 Unidades de Tratamento de Ar (Coimbra, Portugal).



Figura 4: Aplicações Especiais. (a) Fábrica da Bosch, 2 Salas Limpas. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 4 Unidades de Tratamento de Ar (Braga, Portugal). (b) Fábrica da Honda. Solução Integral [UTA + Sistema de Controlo], 2 Unidades de Tratamento de Ar (Manaus, Brasil).

1.2 Enquadramento Temático

Ao longo de décadas, os países industrializados foram adotando políticas de desenvolvimento para aumentar o bem-estar da população, onde o conforto térmico transformou-se na vertente mais explorada por estes países. Com isto, o tema do aquecimento e do arrefecimento em edifícios, tem-se tornado cada vez mais central nas sociedades modernas, com a eficiência energética a ser um dos aspetos mais importantes num contexto de Aquecimento Global. Devido a esta necessidade recorrente de potenciar o conforto térmico, surgiram os sistemas *AVAC* que, para além de manterem a temperatura confortável para os ocupantes de um determinado espaço, também são capazes de tratar a qualidade do ar deste, nomeadamente através de *UTAs*.

Este trabalho enquadra-se na necessidade de melhorar a eficiência energética presente neste tipo de equipamentos, com o objetivo de atenuar os problemas crescentes em termos económicos, bem como ambientais.

1.3 Objetivos e Perguntas de Investigação

Conforme a introdução mencionada anteriormente no capítulo 1, o presente trabalho foi realizado na *EVAC*, onde foram disponibilizados os equipamentos e as condições necessárias no sentido de se obter uma melhor eficiência energética num sistema de recuperação com roda térmica de uma *UTA*, dotado de registos de *bypass*.

Com esse propósito, estudou-se e caracterizou-se de forma detalhada a perda de carga, identificando os principais aspetos/variáveis que a influenciam, definido-se os seguintes objetivos para a realização deste trabalho:

- **Objetivo 1:** Realizar uma revisão da literatura sobre as *UTAs*, como por exemplo, normas, legislação e soluções existentes no mercado. Irá ser resumido na secção 2.4.

- **Objetivo 2:** Definir o caso de estudo. Este caso de estudo será resumido no capítulo 3.
- **Objetivo 3:** Desenvolver um modelo experimental do estudo a desenvolver. A descrição deste modelo irá estar presente na secção 3.2.
- **Objetivo 4:** Aplicar o modelo desenvolvido para realizar os ensaios através de várias variáveis. Estas variáveis vão ser apresentadas na secção 3.3.
- **Objetivo 5:** Realizar todos os ensaios e medições, e através destas determinar os principais aspetos que influenciam a perda de carga. Estes passos vão ser descritos no capítulo 4.

Consequentemente, nesta dissertação, espera-se que sejam respondidas as seguintes [Perguntas de Investigação \(PI\)](#):

- **PI1:** Quais os principais aspetos que influenciam a perda de carga no escoamento do ar na secção da UTA (conjunto recuperador + *bypass*), quer no circuito de insuflação, quer no circuito de extração? Esta PI está relacionada com o objetivo 5 e é respondida nos capítulos 4 e 5.
- **PI2:** Quais as melhores soluções a implementar, de modo a otimizar o componente (registro + roda térmica)? Esta PI está respondida no capítulo 5.

1.4 Calendarização

Foram definidas várias etapas de trabalho de modo a cumprir o prazo estipulado para este projeto. Estas, estão presentes na tabela 1.

1. Estado da Arte.
2. Definição do caso de estudo.
3. Consolidação dos objetivos.
4. Integração na empresa.
5. Elaboração de um modelo experimental do estudo a desenvolver.
6. Ensaios experimentais.
7. Análise e tratamentos de dados
8. Desenvolvimento de um modelo de caracterização do comportamento.

Tabela 1: Calendarização das etapas realizadas ao longo deste projeto

Etapa\Mês	março	abril	maio	junho	julho	agosto
Etapa 1	X					
Etapa 2	X					
Etapa 3	X	X				
Etapa 4			X	X		
Etapa 5				X		
Etapa 6				X		
Etapa 7					X	X
Etapa 8					X	X

1.5 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos distintos, sendo que no capítulo 1, foi feita uma breve apresentação da empresa, uma introdução referente ao tema em estudo, bem como os objetivos a alcançar neste trabalho.

No capítulo 2, é feita uma contextualização acerca da evolução histórica dos sistemas **AVAC**. Primeiramente, foi efetuada uma pequena introdução destes sistemas, bem como as diferentes aplicações que estes podem ter. De seguida, foi apresentado a constituição de uma **UTA**, isto é, todos os módulos existentes. Por fim, foi elaborada um resumo acerca de todas as normas, legislações e regulamentos vigentes, e ainda foi feita uma descrição de vários tipos de **UTAs**.

No capítulo 3, estão inseridas todas as informações relativamente ao caso de estudo desta dissertação. Inicialmente, foi realizada uma breve descrição do local que a **EVAC** disponibilizou. Por fim, foi feita uma descrição detalhada da instalação/modelo experimental, bem como a metodologia de estudo desenvolvida e aplicada.

No capítulo 4, está descrito o ensaio experimental, começando por apresentar a metodologia do ensaio, bem como todos os ensaios das diferentes chapas a estudar. Por último, foi também realizada uma interpretação dos resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 5, apresentam-se as conclusões finais acerca do trabalho realizado, e também alguns desafios futuros para o desenvolvimento contínuo deste projeto.

Unidades de Tratamento de Ar: Estado da Arte

2.1 Unidades de Tratamento de Ar: Evolução histórica

Em 1902, Willis Carrier, um engenheiro de 25 anos formado pela Universidade de Cornell, nos EUA, inventou um processo mecânico para condicionar o ar. O controle do clima foi colocado finalmente em prática, para resolver o problema de uma empresa em dias quentes de Nova Iorque, onde foi feita a primeira instalação por Carrier. Ele concluiu que poderia retirar a humidade da fábrica através do arrefecimento do ar por canais artificialmente arrefecidos. Esse mecanismo, que controlava a temperatura e humidade, foi o primeiro exemplo de um condicionador de ar contínuo com processo mecânico, como se pode observar na Figura 5.

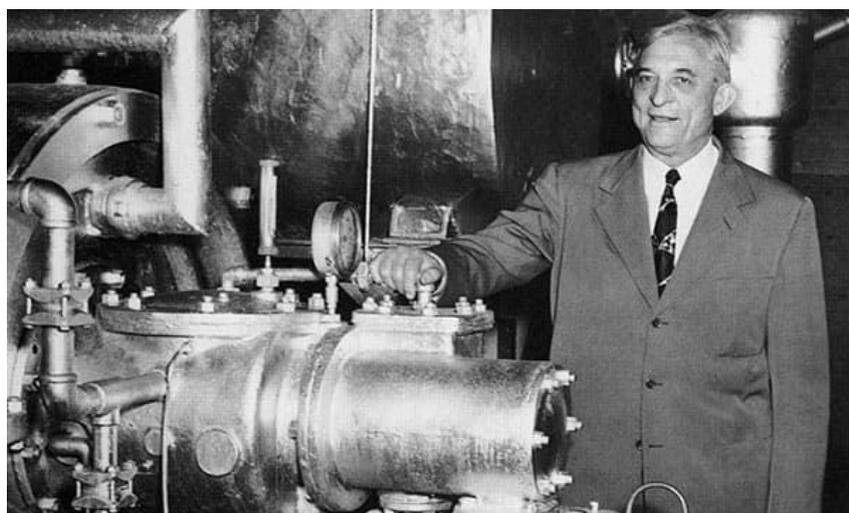


Figura 5: Willis Carrier ao lado da sua primeira invenção [9].

Porém, foi só em 1906 que surgiu o termo “ar-condicionado”, com Stuart Cramer. O também norte-americano criou o seu próprio aparelho a fim de explorar formas de adicionar humidade ao ar na sua fábrica de tecidos, usando-o num pedido de patente efetuado naquele ano. Carrier acabou por adotar o termo como nome da sua empresa.

Os primeiros aparelhos de ar condicionado, assim como os frigoríficos, empregavam gases tóxicos ou inflamáveis como o amoníaco, o clorometano e o propano, o que poderia resultar em acidentes fatais se houvesse uma fuga.

A primeira aplicação do ar-condicionado foi feita numa mansão de Minneapolis, em 1914. Neste mesmo ano, Carrier instalou o primeiro ar-condicionado num hospital, em Pittsburgh. Este sistema, introduzia de certo modo humidade extra em locais específicos para reduzir a mortalidade por desidratação.

Na década dos anos 20, foram instalados os primeiros sistemas de ar-condicionado em locais públicos, principalmente nos cinemas. No final dessa década, Carrier já possuía o seu próprio modelo, mas devido à recessão económica da altura, o seu projeto neste setor abrandou.

Na década seguinte, o setor da climatização continuou a crescer bastante e Willis Carrier desenvolveu um sistema que distribuía o ar a alta velocidade através de canais “Weathermaster”, que economizava mais espaço do que os sistemas que se utilizavam nessa época. Em 1939, também apareceram alguns automóveis com sistemas AVAC, sistemas estes que eram caros, enormes e pouco eficientes. Apesar desta grande evolução no setor, a crise económica e a Segunda Guerra Mundial provocaram uma grande queda na venda destes equipamentos.

Em 1952, foi feita a primeira produção em série de unidades centrais de ar-condicionado para residências, por Carrier. Além disto, em 1957 foi introduzido o primeiro compressor rotativo, reduzindo o tamanho do aparelho e tornando-o mais leve e silencioso.

Na década seguinte, iniciou-se um mercado de amplitude mundial em constante expansão, com muito espaço para o desenvolvimento tecnológico e novidades que ocorrem até aos dias de hoje. Em 1970, começaram a surgir novos equipamentos, constituídos somente por um condensador, bobinas e um ventilador, usando como fluido refrigerante o R-12. Alguns anos depois em 1977, foram criadas bombas de calor capazes de operar com temperaturas exteriores mais baixas permitindo a climatização de quente/frio. Somente na década de 80 é que os sistemas de ar-condicionado automóvel começaram a ser acessíveis e aplicáveis na indústria automóvel.

Aproximando-nos dos dias de hoje, em 1987 após algumas pesquisas, conclui-se que o fluido R-12 frequentemente usado, estava relacionado com a destruição da camada de ozono, sendo progressivamente proibido em vários países. Apesar do Protocolo de Montreal (determinava a redução de substâncias nocivas para o ambiente) ter sido assinado em 1987, foi na década de 90 que as normas e os hábitos sustentáveis começaram a ganhar força no setor da climatização, que estão presentes até agora [9].

De seguida, iniciou-se o desenvolvimento de fluidos refrigerantes menos prejudiciais para o ambiente para serem usados nos novos modelos de ar-condicionado. A inovação destes sistemas continuou ao

longo dos anos até ao presente, mas sempre com elevada precaução devido aos impactos ambientais que certas melhorias poderiam causar. Com isto, e também com o avanço da tecnologia impulsionou-se o aumento da eficiência energética destes equipamentos, bem como a melhoria da qualidade do ar interior.

2.2 Unidades de Tratamento de Ar: Caracterização e Aplicabilidade

As **UTAs** são adequadas a todas as situações em que se exige um rigoroso controlo das condições do ar, nomeadamente temperatura, humidade, filtragem e pressão. Estes equipamentos são atualmente e na maioria dos casos, unidades modulares, isto é, para o mesmo caudal de ar a tratar poderemos ter mais ou menos módulos consoante o número de processos de tratamentos previstos para o ar, nomeadamente aquecimento, arrefecimento, recuperação de calor, filtragem, humidificação e recirculação. Com a funcionalidade de climatização, ou tratamento de ar novo, estes equipamentos podem ser utilizados em qualquer tipo de edifício, desde aeroportos a laboratórios, escritórios a escolas, centros comerciais e hospitais [10]. Podem-se classificar em dois tipos: unidades unidireccionais, de simples fluxo e unidades bidireccionais, de duplo fluxo. Relativamente à sua construção, podem apresentar várias configurações, tais como, de um andar apenas (em linha, que é a solução mais comum, podendo também ter outras configurações como em L ou em U, entre outras), ou de dois andares para insuflação e extração (de configuração sobreposta ou lado a lado). Podem ainda ser unidades compactas, como são exemplos as unidades de baixo perfil para montagem em teto falso.



Figura 6: Unidade de Tratamento de Ar da **EVAC**.

2.3 Unidades de Tratamento de Ar: Constituição

As *UTAs* podem ser classificadas como simples ou complexas, dependendo dos módulos que possuem. Normalmente, para além do módulo de ventilação, o módulo de filtragem está sempre presente numa *UTA*, que tem como função efetuar a retenção das partículas e impurezas provenientes do exterior. Registos motorizados, baterias para aquecimento e/ou arrefecimento, recuperadores de calor, ventiladores, atenuadores acústicos e humidificadores/desumidificadores, são componentes frequentemente utilizados neste equipamento. Na Figura 7 estão representados os principais módulos que se podem encontrar numa *UTA*.

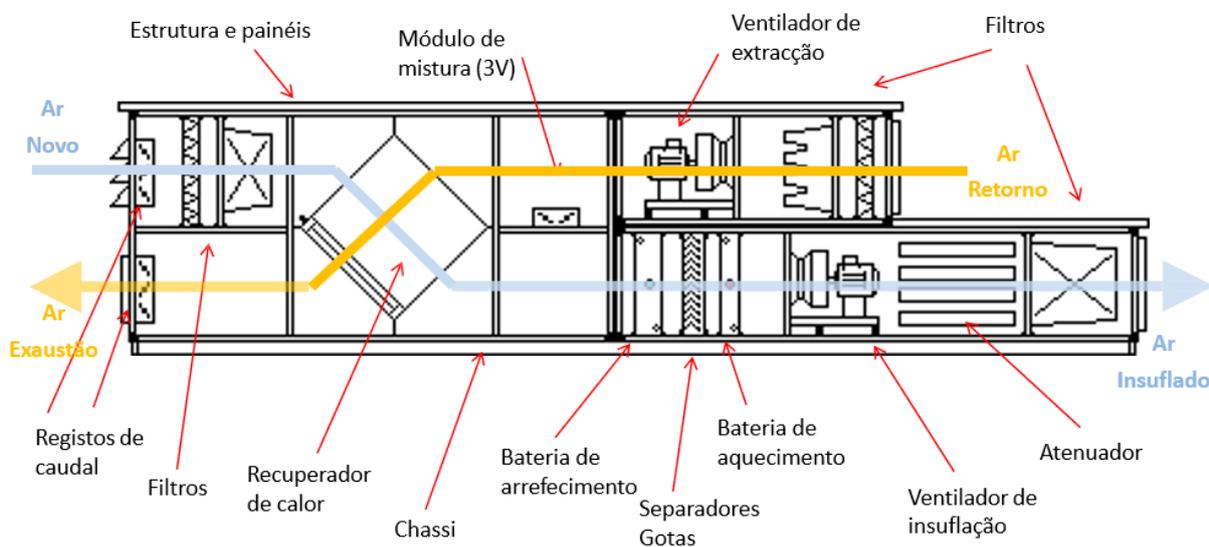


Figura 7: Principais módulos constituintes de uma *UTA*.

De seguida, será feita uma descrição e caracterização detalhada de todos os módulos existentes numa *UTA*.

2.3.1 Módulo de Ventilação

Neste módulo é onde se implementa o ventilador, equipamento que proporciona a circulação do ar (insuflação e/ou extração). Na Figura 8 estão representados os diferentes tipos de transmissão que se pode encontrar nos ventiladores.

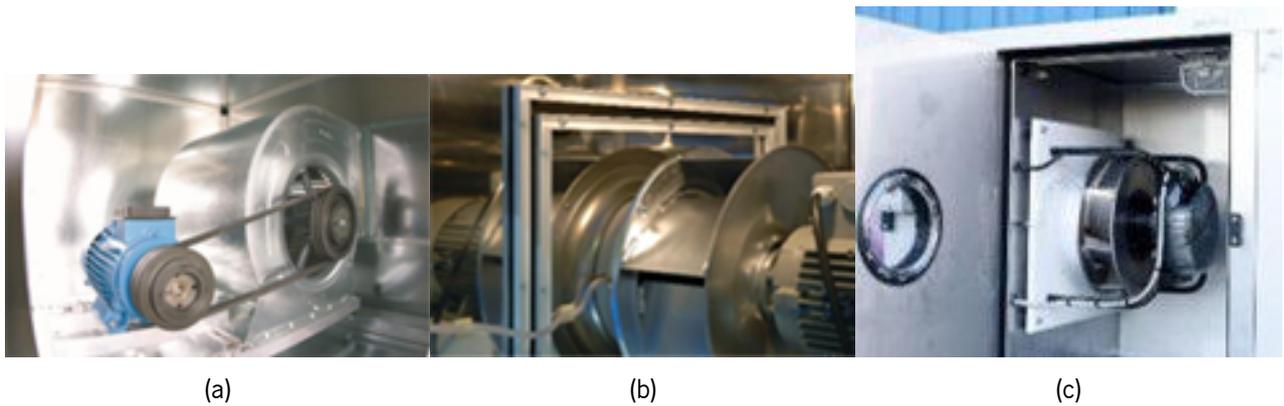


Figura 8: Ventiladores Centrífugos com diferentes tipos de transmissão. (a) Ventilador Centrífugo, Transmissão por Correia. (b) Ventilador Centrífugo, Transmissão Direta "Plug-Fan". (c) Ventilador Centrífugo, Transmissão Direta "Plug-Fan", motor EC (electronically commutated).

A norma EN 13053 [11] classifica as unidades consoante a velocidade de passagem do ar no interior da unidade. Esta velocidade é diferente da velocidade do ar que circula nas baterias. Esta norma também classifica a eficiência do conjunto motor-ventilador.

Na Tabela 2, podemos observar as respetivas classificações de velocidade e potência absorvida desse conjunto.

Class	Air Velocity (m/s)
Class V1	maximum 1,6
Class V2	>1,6 to 1,8
Class V3	>1,8 to 2,0
Class V4	>2,0 to 2,2
Class V5	>2,2 to 2,5
Class V6	>2,5 to 2,8
Class V7	>2,8 to 3,2
Class V8	>3,2 to 3,6
Class V9	>3,6

Note: The air velocity in the unit has a large influence on energy consumption. The velocities are calculated for air velocity in AHU cross-section. The velocity is based on the square area of filter section of a unit, or if no filter is installed, it is based on the square of the fan section.

(a)

Class	Pm max (kW)
Class P1	$\leq P_{mref} \times 0,85$
Class P2	$\leq P_{mref} \times 0,90$
Class P3	$\leq P_{mref} \times 0,95$
Class P4	$\leq P_{mref} \times 1,00$
Class P5	$\leq P_{mref} \times 1,06$
Class P6	$\leq P_{mref} \times 1,12$
Class P7	$\leq P_{mref} \times 1,12$

Each fan shall be specified in the power consumption classes. All values are based on nominal conditions with a density of 1,2 kg/m³.

(b)

Tabela 2: Tipos de ventiladores de acordo com a norma EN 13053. (a) Classificação da velocidade interior na caixa (b) Classificação da potência absorvida. Adaptada da [11]

2.3.2 Módulo de Baterias

Neste módulo, para promover o arrefecimento e/ou aquecimento do ar, podemos ter presente permutadores ar/água, vulgarmente designados de baterias a água, onde a alimentação das serpentinas localizadas no interior das *UTAs* é realizada através de um circuito hidráulico. O fluido de trabalho pode tratar-se de água ou de uma solução aquosa de etilenoglicol ou de propilenoglicol, no caso de existir risco de congelamento deste. Para além destas baterias, podem ser usadas baterias de expansão direta (conhecidas por *DX coils*), que são baseadas num circuito frigorígeno, onde era usado sobretudo o R410 como fluido frigorígeno de trabalho. Também podem ser implementadas resistências elétricas, cujo método de funcionamento baseia-se no efeito de Joule, para aquecimento. Na Figura 9 é possível observar um exemplo de baterias a água, de arrefecimento e aquecimento de uma *UTA*.

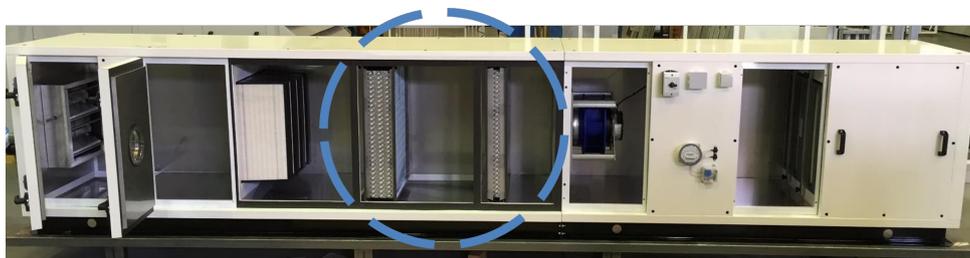


Figura 9: Baterias de arrefecimento e aquecimento. Adaptada de [12].

2.3.3 Módulo de Recuperação de Calor

Neste módulo o principal objetivo com ajuda de um recuperador, é realizar uma troca de calor entre o ar interior, rejeitado, e o ar exterior (ar novo) a introduzir no espaço, transferindo a energia do rejeitado para o ar novo provocando uma máxima eficiência de recuperação associada à menor perda de carga possível e menor consumo para a instalação.

Uma das soluções mais comuns dos recuperadores usados nas *UTAs* é o de fluxos cruzados, que é formado por placas de alumínio estampadas sobrepostas e inseridas em caixilho metálico. As placas são dispostas de forma que tenham uma face quente e uma face fria, sendo o calor transmitido constantemente da face quente para a face fria. O controlo da recuperação de calor é possível, também, devido ao *bypass* incorporado. Este tipo de recuperador de calor possui uma boa eficiência, não necessita de muita manutenção e não existe transmissão de odores porque os caudais são separados. A taxa de fugas de ar entre os dois circuitos, neste tipo de recuperador, não é zero, mas é praticamente nula. Por outro lado, apresentam um preço de aquisição mais elevado, e maior perda de carga, posteriormente levando a um maior consumo.

Outra das soluções que é bastante utilizada, é o recuperador do tipo roda térmica que consiste num rotor que roda por intermédio de um sistema de transmissão motor/correia, permitindo controlar a eficiência do permutador. Este é regenerativo, ou seja, a massa do rotor alterna entre aquecimento e arrefecimento com a sua rotação. É uma solução que apresenta uma menor perda de carga e uma elevada eficiência de recuperação de energia em comparação com outros sistemas, sendo possível recuperar vapor de água do ar. Contudo, requer alguma manutenção e existe troca de massa entre os dois circuitos, aumentando a probabilidade de transmissão de odores (gases) assim como de outros contaminantes.

Temos ainda os recuperadores do tipo "Run-around coil", mais conhecidos por recuperadores de baterias. Na Figura 10, encontram-se representados, esquematicamente, os recuperadores mencionados anteriormente.

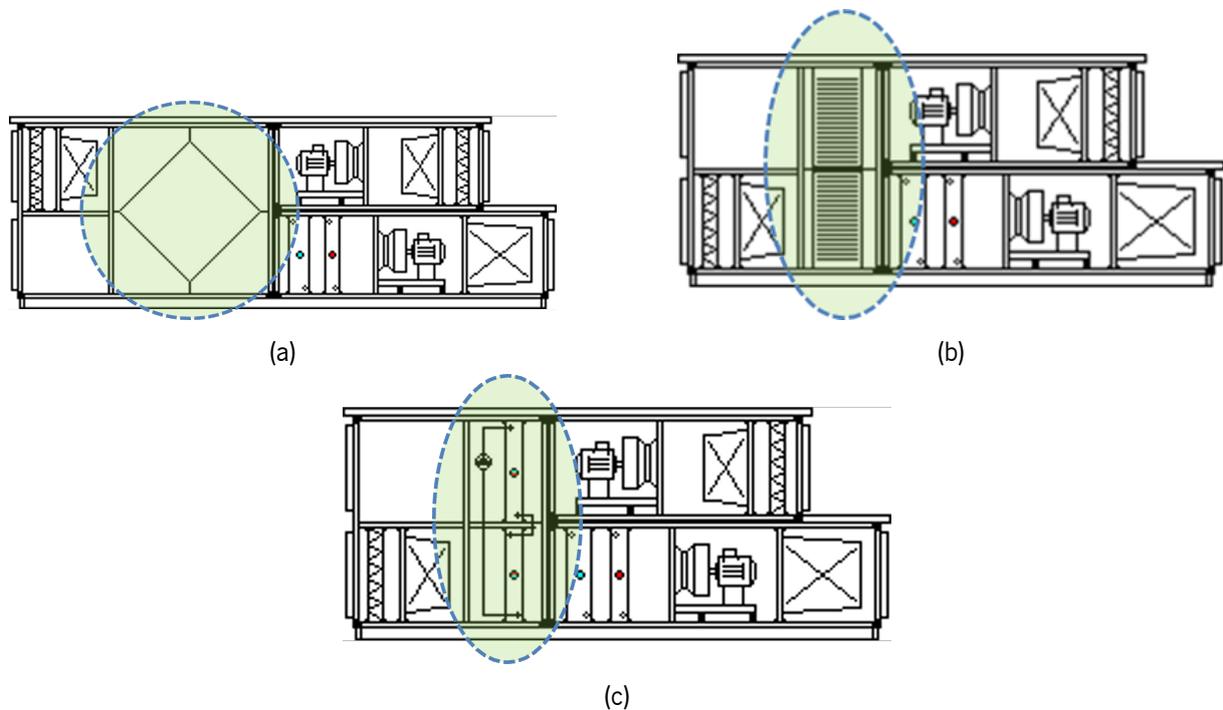


Figura 10: Tipos de Recuperadores de Calor. (a) Recuperador de Placas de Fluxos Cruzados. (b) Recuperador de Roda Térmica. (c) Recuperador de Baterias. Adaptada de [12].

A norma EN 13053 [11] também é responsável por classificar em várias classes os recuperadores de calor, de acordo com a sua eficiência energética, como se pode visualizar na Tabela 3.

Tabela 3: Classes dos Recuperadores de Calor de acordo com a norma EN 13053. Adaptada da [11]

Class	Energy Efficiency (%)
Class P1	≥ 71
Class P2	≥ 64
Class P3	≥ 55
Class P4	≥ 45
Class P5	≥ 36
Class P6	No requirement

Note: The values are valid for balanced mass flows (1:1). The classes define the quality of the HRS and they have a strong influence on the thermal energy consumption. In Nordic countries higher classes and in southern countries lower classes are common.

2.3.4 Módulo de Filtragem

No módulo de filtragem, são utilizados filtros de modo a remover algumas partículas e poeiras que possam estar presentes no ar proveniente do exterior ou até mesmo do interior. Para executar esta filtragem existem diferentes tipos de filtros, tais como, filtros de sacos rígidos, filtros absolutos, filtros de sacos e filtros de sacos de bolsas, como se pode visualizar na Figura 11.

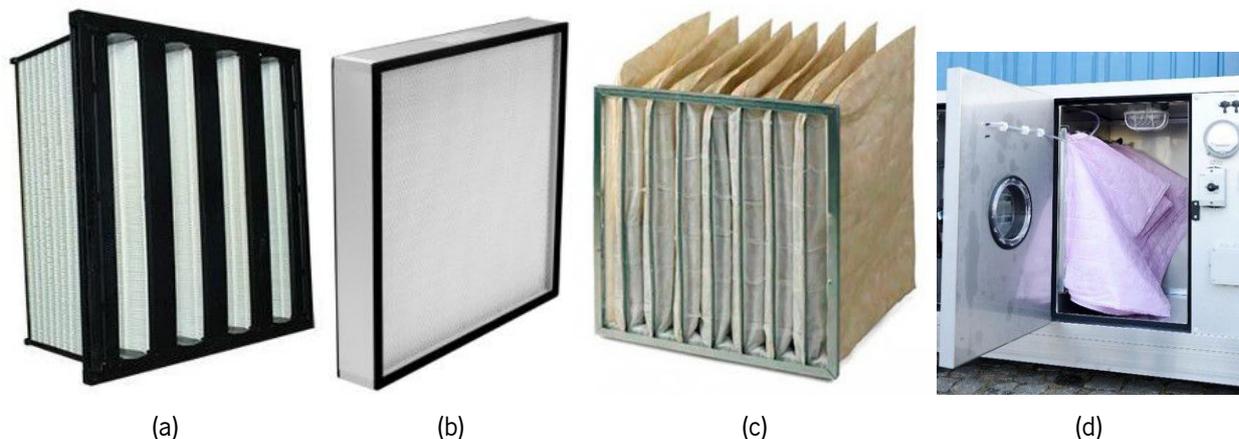


Figura 11: Tipos de Filtros. (a) Filtros de Sacos Rígidos. (b) Filtros Absolutos. (c) Filtros de Sacos. (d) Filtros de Sacos de Bolsas. Adaptada de [13].

Desde 2018 que os filtros de partículas de ar devem ser classificados de acordo com a norma ISO 16890:2016, tendo sido, o período de transição, entre 2016 e 2018 [14]. Esta norma classifica os filtros consoante o tamanho da partículas, como se pode observar através da Figura 12.

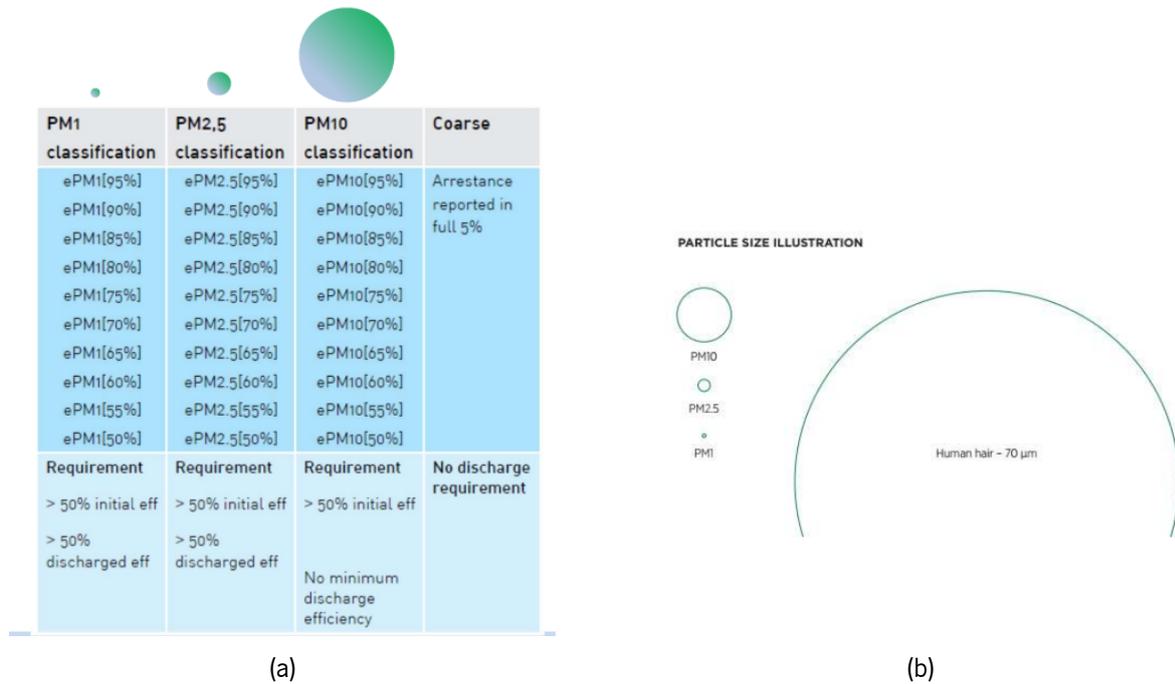


Figura 12: (a) Classificação dos filtros consoante o tamanho das partículas de acordo com a norma ISO 16890:2016. (b) Ilustração do tamanho das partículas. Adaptada de [12].

Apesar de não estar em vigor, o mercado ainda se refere muito à antiga norma EN 779:2012 [15], que classifica os filtros consoante a capacidade de retenção de partículas e a sua eficiência, como se pode observar na Tabela 4.

Tabela 4: Classificação dos Filtros de Ar, consoante a capacidade de retenção de partículas e a sua eficiência. Adaptada da [15].

	EN779 Anterior	EN779 Atual	Média de Arrasto (%)	Média de Eficiência (%)	Mínimo de Eficiência (%)
Grossos	G1	G1	$Am < 65$	-	-
	G2	G2	$65 \leq Am < 80$	-	-
	G3	G3	$80 \leq Am < 90$	-	-
	G4	G4	$90 \leq Am$	-	-
Finos	F5	M5	-	$40 \leq Em < 60$	-
	F6	M6	-	$60 \leq Em < 80$	-
	F7	F7	-	$80 \leq Em < 90$	35
	F8	F8	-	$90 \leq Em < 95$	55
	F9	F9	-	$95 \leq Em$	70
Novo na EN779:2012 [15]			A classificação padrão dos filtros vem de acordo com a performance de filtragem definida pela EN779: - 250 Pa para o grupo de filtros G; - 450 Pa para o grupo de filtros F.		

Segundo a norma EN 1822:2009 [16], os filtros são divididos em três grupos tendo em conta a sua eficiência, *Efficiency Particulate Air Filters (EPA)*, *High Efficiency Particulate Air Filters (HEPA)* e *Ultra Low Penetration Air Filters (ULPA)*, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Classificação dos Filtros de Ar, consoante a sua eficiência. Adaptada da [16].

Grupo de Filtros	Classe	MPPS	
		Eficiência (%)	Penetração (%)
EPA	E10	85	15
	E11	95	5
	E12	99,5	0,5
HEPA	H13	99,95	0,05
	H14	99,995	0,005
ULPA	U15	99,9995	0,0005
	U16	99,99995	0,00005
	U17	99,999995	0,000005

MPPS: Most Penetrating Particle Size

Existe também a norma EN 13779:2007 [17], que recomenda a utilização dos diferentes tipos de filtros existentes, consoante o nível de qualidade do ar interior desejável e a qualidade do ar exterior registada, como está representado na Tabela 6.

Tabela 6: Classificação dos Filtros de Ar, consoante o nível de qualidade do ar interior desejável e a qualidade do ar exterior registada de acordo com a norma EN 13779. Adaptada da [17].

Qualidade do Ar Exterior Registada (<i>Outdoor Air (ODA)</i>)	Qualidade Desejada no Ar Interior (<i>Indoor Air (IDA)</i>)			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1 (ar com baixo nível de poeira - ar puro)	F9	F8	F7	M5
ODA 2 (ar com poeira moderada)	F7+F9	M6+F8	M5+F7	M5+M6
ODA 3 (ar com concentrações altas de poeiras ou gases)	F7+FG+F9	F7+FG+F9	M5+F7	M5+M6

FG: Filtro para Gases

Para além das recomendações supramencionadas, as *UTAs*, têm de ter módulos de filtragem preconizando, no mínimo, a existência de um andar de filtragem composto por, pelo menos, um filtro, nas seguintes condições: [18]

- (a) Classificação mínima de **M5**, antes de qualquer bateria ou recuperador de calor;
- (b) Classificação mínima de **F7**, a jusante de ventiladores com motores e transmissão por correias em contacto com o ar circulante;
- (b) Classificação mínima de **F7**, a jusante de atenuadores acústicos, exceto nos casos onde se verifique a existência de um certificado que ateste a não desagregação do elemento acústico, emitido por laboratório acreditado, dispensando neste caso o referido na alínea anterior.

De salientar que em 2012 as classificações F5 e F6 foram alteradas para M5 e M6. [19]

De modo a aumentar a longevidade destes filtros e dos componentes existentes numa *UTA*, a EU-ROVENT, recomenda a utilização de dois filtros em série, um pré-filtro de classe M5, no mínimo, com o objetivo de filtrar as partículas de maiores dimensões, seguido de um filtro de classe F7, no mínimo, para reter as partículas mais finas [20].

2.3.5 Módulo de Registo de Caudal

Neste módulo, é onde se encontram os registos de caudal, que são responsáveis pela regulação do ar na entrada e saída da UTA, fazendo e corrigindo as misturas de ar, de modo a diminuir o consumo de energia. Têm também a função de "fechar" a unidade quando esta não se encontra em funcionamento. São constituídos por um conjunto de lâminas, normalmente em alumínio, que podem ser controlados manualmente ou automaticamente (através de um atuador elétrico). De salientar que a variação da abertura das lâminas destes registos altera a perda de carga deste componente. A norma EN 1751:2014 [21] indica os valores limites a cumprir em ensaios de estanquicidade. Na Figura 13, podemos observar um registo de caudal controlado manualmente e outro automaticamente.



Figura 13: Tipos de Registo de Caudal. (a) Registo de Caudal controlado manualmente. (b) Registo de Caudal controlado automaticamente.

2.3.6 Módulo de Atenuação Acústica

Este módulo é responsável por atenuar o ruído produzido pelos componentes mais ruidosos, nomeadamente os ventiladores e garantir, em determinadas circunstâncias, que estes valores cumpram os parâmetros permitidos na legislação em vigor. Utilizam materiais absorventes de alta densidade, e podem ser colocados antes e/ou depois dos ventiladores, representado na Figura 14.

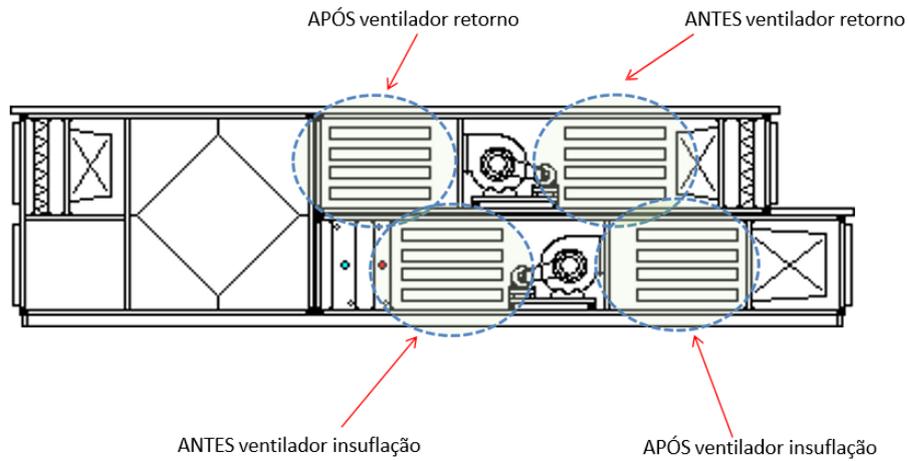


Figura 14: Representação esquemática dos atenuadores acústicos.

2.3.7 Outros Módulos

Para além dos módulos já abordados, que podem ser considerados os módulos mais importantes de uma UTA, existem outros módulos que podem ser implementados, tais como:

- Humidificadores;
- Tabuleiro de condensados;
- Bombas de condensados;
- Manómetros de Pressão;

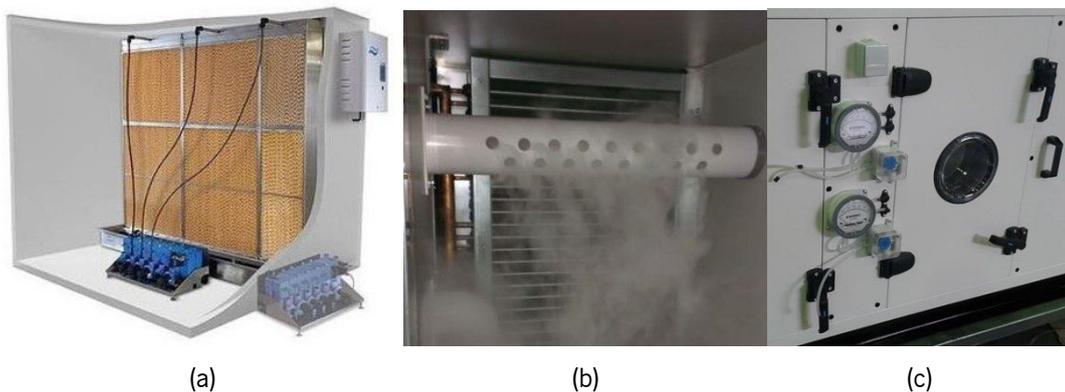


Figura 15: Exemplos de módulos/elementos que se podem encontrar numa UTA. (a) Humidificador Evaporativo com Bomba. (b) Humidificador por Ultrassons. (c) Manómetros de Pressão.

2.4 Normas, legislação e regulamentos

De seguida, neste subcapítulo serão abordados os regulamentos/normas inerentes aos sistemas *AVAC*, com maior foco nas *UTAs*.

Tendo em conta todas as metas/protocolos estabelecidos a nível europeu relativamente à redução dos consumos de energia e consequente diminuição das emissões de gases com efeito de estufa, por parte dos equipamentos consumidores de energia, foram estabelecidos regulamentos europeus e nacionais, diretivas europeias, normas e decretos-lei de forma a regular esta área de trabalho e a eliminar, de certa forma, os produtos com menos desempenho, como se pode observar na Figura 16.

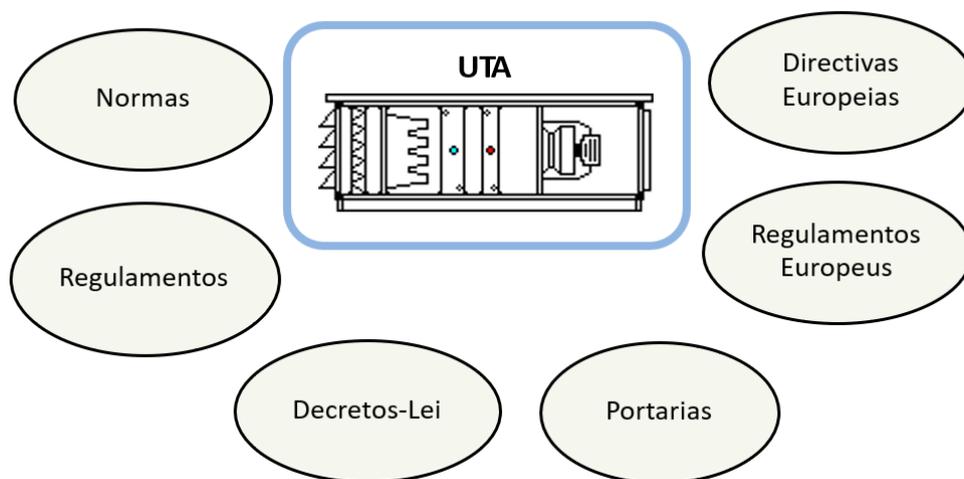


Figura 16: Legislação e normas aplicáveis às *UTAs*. Adaptada da [12]

Toda esta normalização e legislação em volta das *UTAs* tem como único objetivo colocar no mercado produtos mais eficientes em termos energéticos e com melhores desempenhos. Assim, todos os fabricantes deste tipo de equipamentos, apenas conseguem colocar no mercado produtos certificados, de acordo com certos regulamentos e diretivas específicas.

Todos estes documentos legais e técnicos, estabelecem uma grande quantidade e diversidade de requisitos técnicos e legais, que os fabricantes têm de cumprir na conceção e fabrico das *UTAs*.

Para uma melhor compreensão de todo o tipo de legislação existente, do projeto, conceção e fabrico das *UTAs*, é apresentado de seguida um breve resumo acerca das normas, legislação e regulamentos vigentes.

Para uma melhor compreensão destes requisitos técnicos e legais, é apresentado de seguida a legislação existente desde o projeto, conceção e fabrico das *UTAs*.

2.4.1 Normas

Como foi referido anteriormente, existem certos regulamentos e diretivas específicas relativamente às **UTAs**, tais como:

- EN 1886 – Métodos e requisitos dos testes, para classificação das **UTAs** [22].
- EN 13053 – Classificação e desempenho para unidades, componentes e secções de **UTAs** [11].
- EN 13779 – Requisitos de ventilação [17].

As normas EN 1886 e EN 13053 têm como objetivo classificar o desempenho mecânico e o desempenho dos componentes e secções das **UTAs**, respetivamente.

Na Tabela 7, estão apresentados os requisitos das normas mencionadas.

Tabela 7: Requisitos das normas EN 1886 e EN 13053. Adaptada da [12].

EN 13053	EN 1886
Desempenho e requisitos da unidade: - Desempenho Aerodinâmico; - Desempenho Acústico.	Classe de resistência mecânica : Classes D1, D2 e D3
Desempenho e requisitos "dedicados" aos componentes e secções das UTA's: - Caixa de unidade; - Ventilador; - Baterias; - Recuperador de Calor; - Registos de caudal; - Secção de mistura; - Humidificador; - Filtros.	Classe de Estanqueidade : Classes L1, L2 e L3... -400 Pa e +700 Pa
Requisitos de higiene para aplicações especiais.	Classe de "bypass" aos filtros: Classe G1 a F5, F6, F7, F8 e F9
Instrução de instalação, operação e manutenção.	Classe de desempenho térmico : Classes T1, T2, T3, T4 e T5 Fator de ponte térmica : Classes TB1, TB2, TB3, TB4 a TB5

2.4.2 Legislação

Para além das normas que tem de ser cumpridas, existe também uma legislação que é necessário cumprir quando se trata da conceção de uma **UTA**. O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) implementado em Portugal segundo o decreto-lei 101D/2020, impõe restrições diretas e indiretas

às **UTAs** utilizadas no projeto de edifícios. Os requisitos impostos pelo **SCE** encontram-se explanados na Tabela 8 [12],[18].

Tabela 8: Imposições impostas pelo **SCE**, de acordo com a Portaria 138-I/2021. Adaptada da [12] e [18].

Tipo de Requisito	Descrição
“Free-cooling” /Módulo de mistura	Se caudal de insuflação >10 000 m ³ /h
Recuperador de calor	Rendimento >50 % (Se potência térmica de rejeição >80 kW)
Sistema de variação de caudal de ar novo	Se potência instalada do sistema de climatização >100 kW
Espessura mínima painéis 50 mm	Se caudal >1500 m ³ /h
Requisitos de monitorização	
Acessos fáceis para inspeção e manutenção	
Tabuleiro de condensados	Se caudal >1500 m ³ /h
Separador de gotas	Para velocidades de passagem do ar na bateria acima de 2,5 m/s
Classes mínimas dos filtros	Para caudal >1500 m ³ /h - M5 antes de baterias e/ou recuperadores - F7 após ventiladores com transmissão por correia e após atenuadores acústicos
Pressostato diferencial nos filtros	Se caudal >1500 m ³ /h
Tamponamento das entradas e saídas	Durante armazenamento, transporte e instalação

2.4.3 Regulamentos e Certificações

Relativamente aos regulamentos e certificações adjacentes à conceção de **UTAs**, existem duas grandes entidades/diretivas, que irão ser responsáveis pela certificação destes equipamentos.

- Certificação EUROVENT;
- Diretiva Ecodesign.

2.4.3.1 Certificação EUROVENT

A certificação EUROVENT consiste numa entidade europeia que certifica o desempenho de aparelhos e componentes, ou seja, verifica o cumprimento das normas acima mencionadas, de acordo com as normas europeias e internacionais, nomeadamente a norma EN 1886 e EN 13053, estabelecendo ainda uma metodologia de classificação do desempenho energético das **UTAs**. O objetivo é o de aumentar a confiança dos clientes, através do nivelamento dos padrões para todos os fabricantes, e aumentar assim a integridade e rigor das performances anunciadas [20].



Figura 17: Aspecto da etiqueta da certificação EUROVENT. Adaptada da [12].

2.4.3.2 Diretiva Ecodesign, 2009/125

Esta diretiva surge da necessidade de redução do consumo de energia e de recursos. Com a entrada em vigor do protocolo do Kyoto, a União Europeia comprometeu-se a reduzir as emissões de CO₂. Desta forma em 2009, foi assinada a Diretiva ErP/2009/125 ("Energy related products") [23].

A Diretiva 2009/125 estabelece requisitos ecológicos aplicáveis aos produtos relacionados com a energia, ou seja, aqueles que consomem energia, ou cuja utilização tem um impacto sobre o consumo de energia. Esta abordagem deu origem a criação de regulamentos Eco para diferentes produtos ou equipamentos AVAC. Cada regulamento estabelece os requisitos para alcançar, sendo estes geralmente reforçados a cada 2 anos [24].

O objetivo é estabelecer requisitos mínimos obrigatórios para eficiência energética destes, fornecendo regras coerentes à escala da União Europeia. Traduzindo-se numa ferramenta eficaz para eliminar os equipamentos com menor desempenho no mercado, contribuindo significativamente para o objetivo da presente diretiva bem como da UE, ou seja, promovendo a melhoria do desempenho ambiental e energético dos produtos no mercado interno e uma maior competitividade e inovação industrial.

Os regulamentos derivados da ErP são obrigatórios para os estados-membros da União Europeia e abrangem produtos que são produzidos no espaço económico europeu e também importados de outros países. Os produtos para exportação para fora da União Europeia não são cobertos pelo regulamento.

No que concerne às UTAs os regulamentos associados a este grupo são:

- Regulamento 327/2011: Ventiladores
- Regulamento (EU) 1253/2014: Unidades de Ventilação

O Regulamento (EU) 327/2011 apresenta valores limites de eficiência para os ventiladores [25].

O Regulamento (EU) 1253/2014 estabelece requisitos específicos de conceção ecológica aplicáveis às unidades de ventilação, com exigências diferentes para o residencial e para o não residencial [26].

Relativamente aos requisitos impostos para as **Unidades de Ventilação Não Residenciais (UVNR)**, estes podem ser classificados da seguinte forma:

- **Unidade de ventilação bidirecional:** as **UTAs** utilizadas em sistemas de duplo fluxo em edifícios (ventiladores para insuflação e ventiladores para a extração do ar) têm de ser equipadas com sistema de recuperação de energia e conter filtros na aspiração de ar exterior e no retorno do ar interior. O consumo elétrico destas unidades é também restringido.
- **Unidade de ventilação unidirecional:** as **UTAs** utilizadas em sistemas de simples fluxo em edifícios (ventiladores apenas para insuflação ou ventiladores apenas para extração), têm de cumprir com valores mínimos de eficiência estática do ventilador, terem filtro F7 na admissão de ar e um valor máximo para o consumo energético do ventilador.

De uma forma geral, os requisitos específicos da Ecodesign para **UVNR** encontram-se citados abaixo:

- Toda e qualquer unidade de ventilação deverá ser fornecida com sistema de velocidade variável ou com sistema de várias velocidades (3V + off).
- Toda e qualquer unidade de ventilação bidirecional (de duplo fluxo – caudais de insuflação e extração) deverá ser dotada de recuperador de calor, com sistema de “bypass” térmico, com um rendimento mínimo de 68% (para recuperadores do tipo “run around coil”) e de 73% (para recuperadores do tipo placas ou rotativo).
- Toda e qualquer unidade de ventilação deverá apresentar uma potência específica interna dos componentes de referência inferior a determinados valores estabelecidos (de acordo com a tipologia da unidade de ventilação).
- Toda a unidade de ventilação terá o aviso individual para a colmatação dos filtros.

Pode-se observar na Figura 18 uma síntese do Regulamento (EU) 1253/2014 para **UVNR**.

Regulamento (EU) 1253/2014 para unidades de ventilação não residenciais (UVNR)		2016	2018
Ventiladores com sistema de várias velocidades (mínimo 3 + OFF) ou velocidade variável		obrigatório	obrigatório
Sistema de recuperação de calor com "by-pass" térmico em unidades de ventilação bidirecionais (UVB)		obrigatório	obrigatório
Rendimento térmico mínimo: $\eta_T = \frac{T_{\text{DES}} - T_{\text{AR,NOVO}}}{T_{\text{EXTR}} - T_{\text{AR,NOVO}}}$, para caudais iguais de ar seco	Baterias de recuperação "run around coil"	63%	68%
	Outro: placas, rotativo, ...	67%	73%
"Specific Fan Power" interno para configuração de referência, UVB $SFP_{\text{INT,MS}} + SFP_{\text{INT,BEZ}} < SFP_{\text{MÁXIMO}}$ W/(m³/s) $SFP_{\text{INT,I}} = \frac{\Delta P_{\text{INT,I}}}{\eta_{\text{INT,I}}}$ $\eta_{\text{INT,I}} = \frac{\Delta P_{\text{TOTAL,I}} \times \dot{V}_I}{P_{\text{EL,INT,I}}}$	$q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ Baterias de recuperação "run around coil"	$1.700 - 300q_{\text{nom}}/2 + E - F$	$1.600 - 300q_{\text{nom}}/2 + E - F$
	$q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ Baterias de recuperação "run around coil"	$1.400 + E - F$	$1.300 + E - F$
	$q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ Outro: placas, rotativo, ...	$1.200 - 300q_{\text{nom}}/2 + E - F$	$1.100 - 300q_{\text{nom}}/2 + E - F$
	$q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ Outro: placas, rotativo, ...	$900 + E - F$	$800 + E - F$
E - Bónus relativamente ao rendimento térmico do sistema de recuperação de calor, W/(m³/s)	Baterias de recuperação "run around coil"	$(\eta_T - 0,63) \times 3.000$	$(\eta_T - 0,68) \times 3.000$
	Outro: placas, rotativo, ...	$(\eta_T - 0,67) \times 3.000$	$(\eta_T - 0,73) \times 3.000$
F - Correção relativamente à configuração de referência, W/(m³/s)	Configuração de referência	0	0
	Extração sem M5	160	150
	Insuflação sem F7	200	190
	Sem ambos os filtros	360	340
"Specific Fan Power" interno máximo em unidades de ventilação unidirecionais (UVU), com filtro		250	230
Rendimento estático mínimo do grupo ventilador para UVU	$P \leq 30 \text{ kW}$	$6,2\% \times \ln(P) + 35\%$	$6,2\% \times \ln(P) + 42\%$
	$P > 30 \text{ kW}$	56,1%	63,1%
Aviso visual individual para colmatação dos filtros		-	obrigatório

Figura 18: Especificações do Regulamento (EU) 1253/2014 para UVNR. Adaptada da [12],[26].

2.5 Diferentes gamas de Unidades de Tratamento de Ar produzidas pela EVAC

Neste subcapítulo serão apresentadas algumas das diversas soluções que a EVAC dispõe, na procura constante de satisfazer as necessidades do mercado e dos seus clientes. Destaca-se o facto de as próximas gamas a serem apresentadas, estarem em conformidade com as principais exigências das normas europeias EN 1886 e EN 13053 e com a Ecodesign: Regulamento Europeu (EU) 1253/2014, ErP 2009/125 [22],[11],[24]. Apresentam também a Certificação Eurovent (versões Plus 50, LM 50 e ZL 70) [20].

2.5.1 Unidade de Tratamento de Ar - Gama UTA

A gama representada na Figura 19, aplica-se a qualquer processo de climatização em que se pretende um rigoroso controlo das condições do ar (temperatura, humidade, filtragem e pressão) a par das normais preocupações acústicas, ambientais e de eficiência energética. Apresenta uma elevada qualidade dos materiais, uma configuração modular e ajustável, podendo atingir um caudal máximo de ar de aproximadamente $100.000 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figura 19: Aspecto exterior de um equipamento da Gama UTA. Adaptada da [7].

2.5.2 Unidade de Tratamento de Ar Higiênica Certificada - Gama UTA-H

Estas são unidades especialmente adequadas para o sector hospitalar (blocos operatórios e salas de recobro), assim como para as indústrias alimentar, química, farmacêutica e de componentes eletrónicos (laboratório e salas brancas). Relativamente às características construtivas, apresentam uma qualidade superior à gama anterior, de modo a otimizar a assepsia interior da unidade. Esta gama está representada na Figura 20.



Figura 20: Aspecto exterior de um equipamento da Gama UTA-H. Adaptada da [7].

2.5.3 Unidade de Tratamento de Ar - Gama UTA-RP/RR/RB

Estas unidades destinam-se à recuperação de energia entre o ar exaurido e o ar novo necessário. São concebidas e fabricadas de acordo com a gama UTA, nas suas versões construtivas, apresentando elevados rendimentos de recuperação, podendo-se observar na Figura 21, um exemplo da mesma.



Figura 21: Aspecto exterior de um equipamento da Gama UTA-RP/RR/RB. Adaptada da [7].

2.5.4 Unidade de Tratamento de Ar Compacta de Baixo Perfil - UC

UTAs compactas, especialmente concebidas para instalação interior, em teto falso, em virtude da sua reduzida altura, como se pode observar na Figura 22. Também apresentam uma configuração modular e ajustável, podendo atingir um caudal máximo de ar de aproximadamente $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figura 22: Aspecto exterior de um equipamento da Gama UC. Adaptada da [7].

2.5.5 Unidade de Tratamento de Ar de Recuperação de Baixo Perfil - URT

Assim como a gama UTA-RP/ UTA-RR / UTA-RB, estas unidades destinam-se à recuperação de energia entre o ar extraído do espaço climatizado e o ar novo (ar exterior), mas são especialmente concebidas para instalação interior, em teto falso. Apesar da sua reduzida dimensão, possuem elevados rendimentos de recuperação, e o caudal máximo de ar pode chegar aos $3.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Pode-se observar o aspeto exterior de um equipamento desta gama na Figura 23.



Figura 23: Aspeto exterior de um equipamento da Gama URT. Adaptada da [7].

2.5.6 Unidade de Tratamento de Ar Higiénica Monobloco - MBH

São unidades do tipo plug and play, compactas e de construção higiénica, adequadas para processos de climatização em que seja necessário garantir maiores condições de higiene e/ou situações em que o espaço para instalação de equipamentos seja uma limitação. O caudal máximo de ar pode atingir os 20.000 m³/h aproximadamente. Esta gama está representada na Figura 24.



Figura 24: Aspeto exterior de um equipamento da Gama MBH. Adaptada da [7].

2.5.7 Unidade de Tratamento de Ar Desumificadoras - UD

UTAs especificamente concebidas para piscinas interiores, assim como para qualquer outro processo de ventilação e climatização que necessite de uma remoção contínua de vapor de água do ar. Devido a esta aplicabilidade, apresentam uma elevada resistência à corrosão e elevadas eficiências energéticas (possibilidade de serem dotadas de regenerador de calor e/ou de bomba de calor), como se pode observar na Figura 25.



Figura 25: Aspeto exterior de um equipamento da Gama UD. Adaptada da [7].

Para além das UTAs mencionadas acima, a EVAC apresenta outros tipos de soluções como por exemplo:

- Unidade Regenerativa - UR;
- Unidade para Quartos de Isolamento - UQI;
- Unidade Purificador de Ar - UPA;
- Unidade Industrial de Filtragem Química - UFQ;
- Unidade Lavador de Ar - LA;
- Caixas de Ventilação - CA;
- Ventiladores de Desenfumagem - CA-ST;
- Ventiloinvectores - VC, CAS e WM;

Caso de Estudo: Estudo e caracterização das perdas de carga num sistema de recuperação com roda térmica de uma UTA

É neste contexto que o presente capítulo expõe, como caso de estudo, a caracterização de forma detalhada da perda de carga no escoamento do ar na secção da UTA (conjunto recuperador + *bypass*), quer no circuito de insuflação, quer no circuito de extração, procurando melhor entender e caracterizar os principais aspetos que a influenciam. A utilização de registos de caudal de ar no módulo de recuperação promove um *bypass* a este componente, diminuindo assim o consumo de energia associado à ventilação.

3.1 Apresentação do local de estudo

O caso de estudo foi efetuado na empresa [EVAC](#), localizada em Penafiel, no âmbito de um estágio curricular. Para o efeito, foi disponibilizada uma área de trabalho e projetada uma instalação/modelo, onde se realizaram os ensaios experimentais, como é possível observar na Figura 26.



Figura 26: Área de trabalho na EVAC, onde se realizou o estudo.

3.2 Descrição da Instalação/Modelo Experimental

Na Figura 27 está representada a [UTA](#) que foi utilizada nos ensaios experimentais, tendo como principais características:

- Modelo: [UTA 20 st](#);
- Dimensões da [UTA](#) (A x L x C): 945 x 665 x 2480mm;
- Caudal de ar do ventilador: 2250 m³/h;
- Pré-filtro (Plano) G4 a montante das baterias de arrefecimento e aquecimento;
- Filtro (Saco) F7 a jusante do ventilador.

CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDO: ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS DE CARGA NUM SISTEMA DE RECUPERAÇÃO COM RODA TÉRMICA DE UMA UTA

Trata-se de uma unidade com parte da sua envolvente em vidro, utilizada em apresentações técnicas. Neste trabalho foi utilizada, por assim dizer, apenas como ventilador (componente circulador de ar), uma vez que se encontra dotada de um potenciómetro e de um caudalímetro onde facilmente se define o caudal de ar em circulação. Em, simultâneo, permitiu ainda a análise e estudo de algumas outras características da instalação. A folha de seleção desta unidade com as suas características detalhadas encontra-se no Anexo I.



(a)



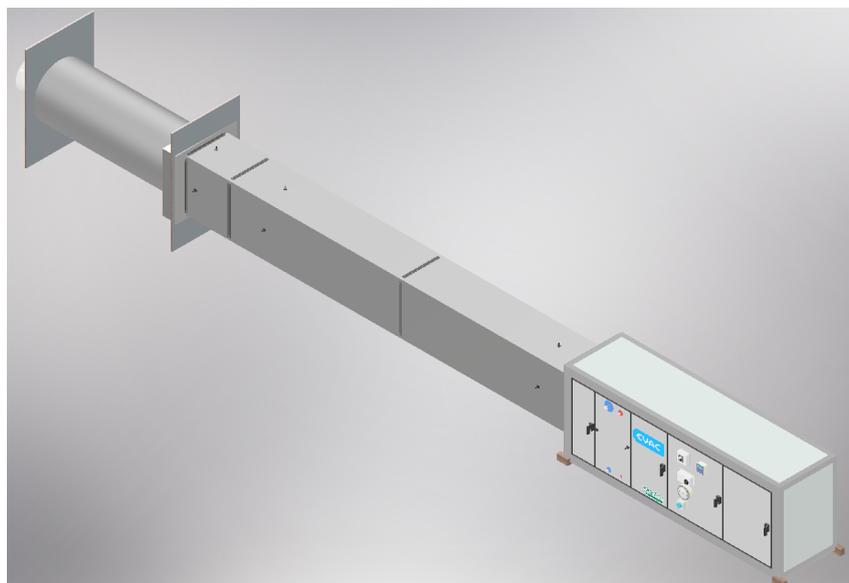
(b)

Figura 27: UTA Experimental facultada pela EVAC. (a) Vista frontal. (b) Vista traseira.

Na Figura 28 está representada a instalação que foi projetada de modo a ser possível realizar os ensaios experimentais, bem como a respetiva modelação em 3D.



(a)



(b)

Figura 28: (a) Vista parcial da instalação. (b) Modelação 3D da Instalação.

3.3 Metodologia do Estudo

Para além da UTA, conforme já foi referido, foi utilizada essencialmente como unidade de ventilação, esta instalação também é composta por um troço de uma conduta onde se encontram duas secções bastante importantes para o desenvolvimento deste estudo. Na primeira secção, representada pelo nº1 da Figura 31, introduziu-se uma chapa perfurada com objetivo de uniformizar o caudal ao longo da restante conduta, devido a esta zona apresentar um regime turbulento. As características desta chapa perfurada estão representadas na Figura 29.

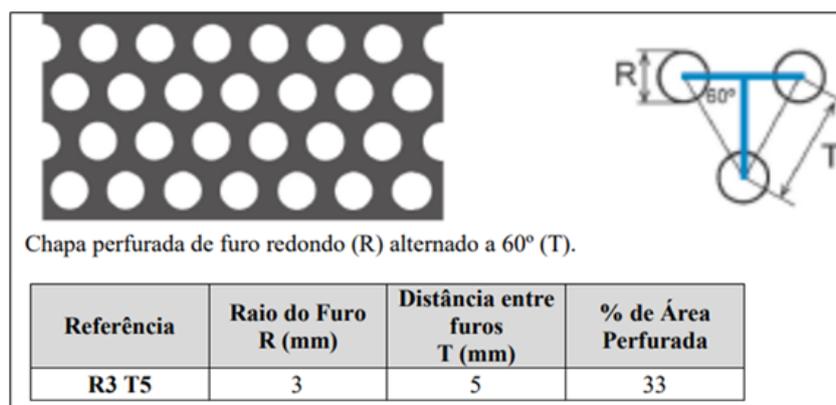


Figura 29: Características da chapa perfurada usada para tentar uniformizar o escoamento.

Representada pelo nº3 da Figura 31, observamos a segunda secção. É nesta secção que se introduz as diferentes chapas, que têm como objetivo simular a existência de uma roda térmica e de um registo de caudal, com diferentes geometrias para diferentes caudais, para a realização dos ensaios. Na Figura 30 é possível observar as chapas utilizadas nos ensaios experimentais.

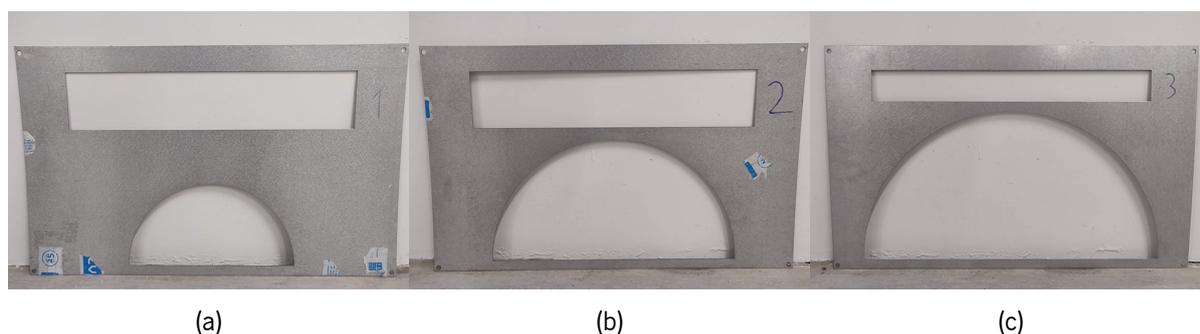


Figura 30: Aspeto das chapas usadas nos ensaios experimentais. (a) Chapa Nº1. (b) Chapa Nº2. (c) Chapa Nº3.

Como é possível observar na figura anterior, as chapas apresentam diferentes dimensões. Na tabela 9 é possível observar as dimensões das chapas utilizadas nos ensaios experimentais.

Tabela 9: Dimensões das diferentes chapas utilizadas nos ensaios experimentais.

	Chapa Nº1	Chapa Nº2	Chapa Nº3
Diâmetro da Roda Térmica (mm)	330	490	600
Dimensões do Registo de Caudal (mm)	110 x 550	110 x 550	55 x 550

A UTA vem equipada com um dispositivo muito frequente neste tipo de equipamentos, que tem como objetivo regular/medir o caudal do ventilador, denominado *DPT-FLOW*, representado pelo nº5 da Figura 31. Ao longo da instalação encontram-se também tomadas de pressão posicionadas estrategicamente com o objetivo de medir a pressão em determinados componentes, como se pode observar pelo nº2 e nº4 da Figura 31.

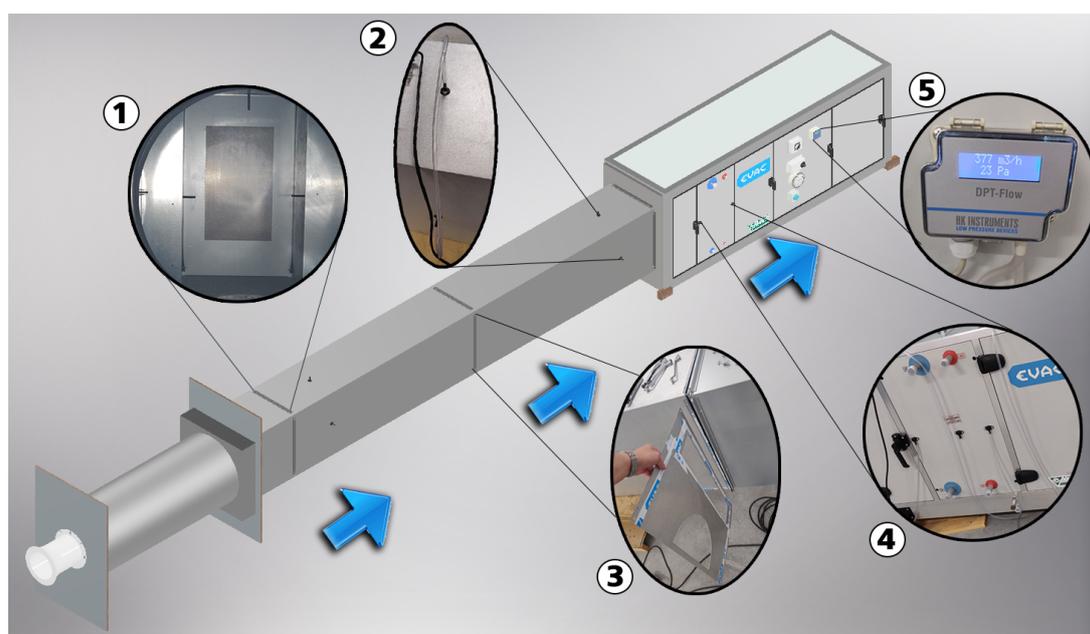


Figura 31: Representação detalhada da instalação experimental. 1 - Zona onde se introduziu a chapa perfurada. 2,4 - Tomadas de pressão. 3 - Zona de estudo onde se ensaiaram as diferentes chapas. 5 - dispositivo *DPT-FLOW*.

De modo a verificar a perda de carga ao longo da instalação utilizaram-se transdutores de pressão que têm como principal função a leitura do diferencial de pressão entre dois pontos. Na Figura 32 é possível observar uma representação esquemática em 3D, da posição das tomadas de pressão de cada transdutor. Por outro lado, na Figura 33 observamos uma representação em 2D onde também é possível identificar as tomadas de pressão de cada transdutor, bem como a distância entre elas.

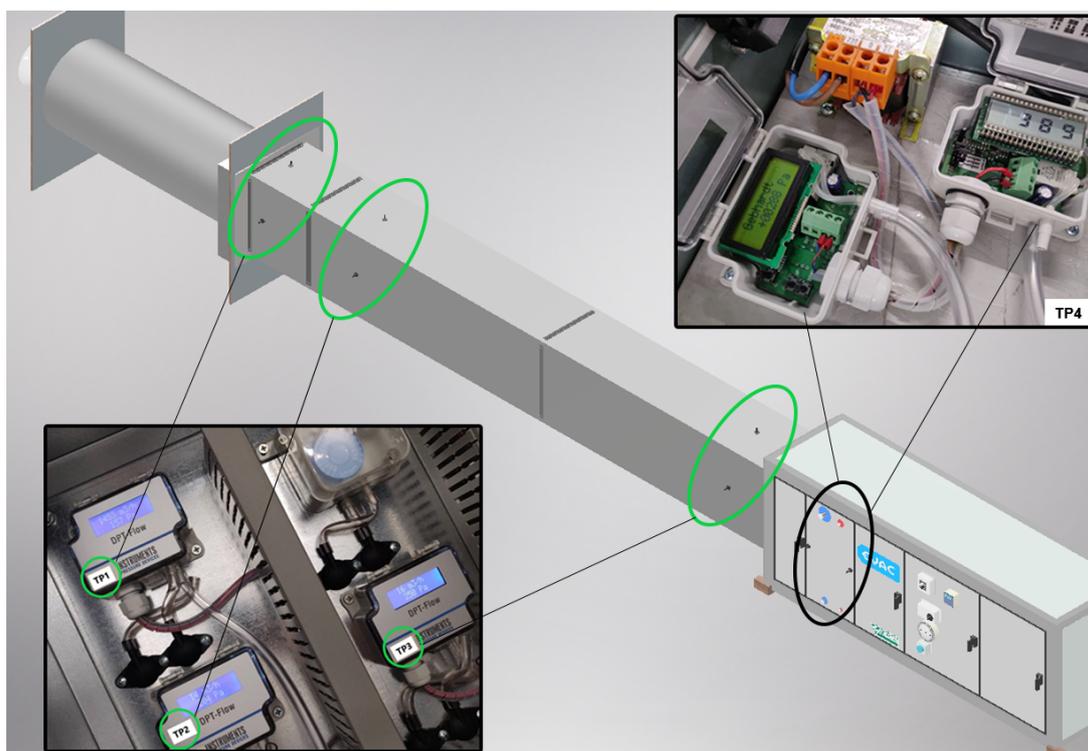


Figura 32: Esquema 3D da instalação, com identificação da posição das tomadas de pressão de cada transdutor.

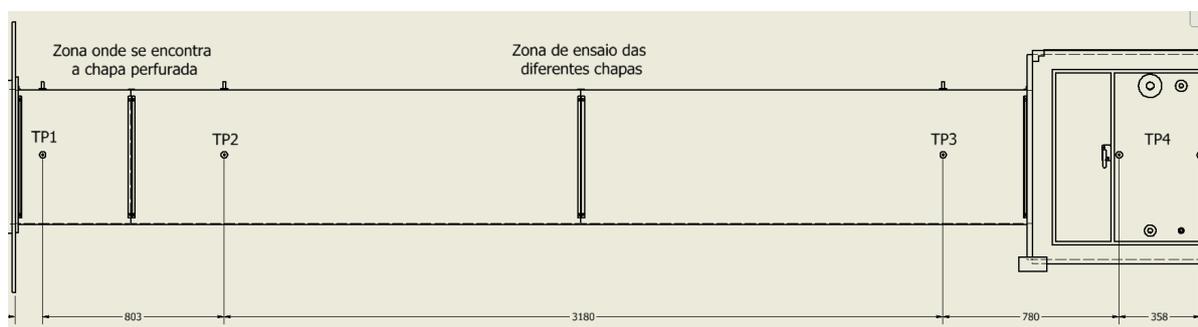


Figura 33: Esquema 2D da instalação, com identificação da posição das tomadas de pressão de cada transdutor, bem como a distância entre elas.

Ensaio Experimental e Interpretação de Resultados

De modo a caracterizar os principais aspetos que influenciam a perda de carga no escoamento do ar na secção da UTA (conjunto recuperador + *bypass*), quer no circuito de insuflação, quer no circuito de extração foram utilizadas diferentes chapas que têm como objetivo simular a existência da roda térmica e do registo de caudal, com diferentes geometrias para diferentes caudais.

Neste capítulo apresentam-se os algoritmos e os resultados de todas as ferramentas de cálculo usadas, essenciais à realização destes ensaios.

4.1 Metodologia do Ensaio

Inicialmente, foram definidas duas variáveis: o estado do registo, isto é, se este se encontra aberto ou fechado, e a presença ou não da roda térmica. A presença ou não da roda térmica visava estudar a perda de carga associada à transição do escoamento, na forma geométrica da roda térmica (meia-lua). Isto é, procurava, individualizar este efeito (separando-o da perda de carga da própria roda térmica). Com estas duas variáveis, estamos perante quatro situações diferentes de ensaio para cada uma das chapas apresentadas anteriormente, como é possível observar na Figura 34.

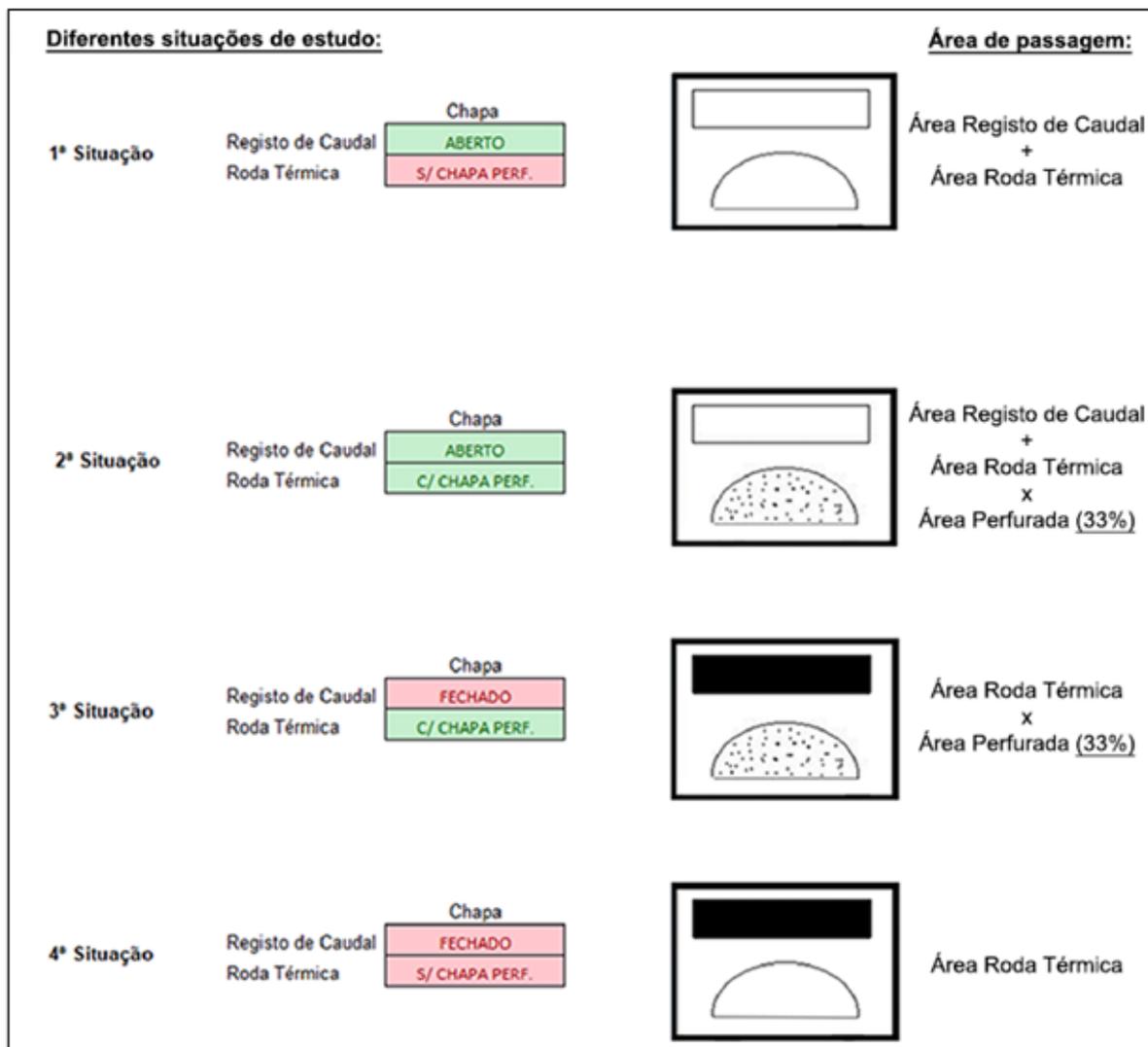


Figura 34: Representação esquemática das diferentes situações a ensaiar.

Relativamente aos ensaios experimentais, de modo a obter uma boa precisão nos resultados, estes foram realizados duas vezes, num curto intervalo de tempo e nas mesmas condições, para seis diferentes caudais de ar. De seguida, foi realizada uma média dos resultados obtidos desses dois ensaios, de modo a remover os valores muito discrepantes.

De salientar que para todos os ensaios realizados, foram registadas algumas condições, como por exemplo, temperatura, humidade relativa e a pressão. Posteriormente, efetuou-se uma tabela como se pode observar na Figura 35, onde se registaram todos os valores lidos nos transdutores de pressão, para os diferentes caudais.

1ª Medição	Caudal (m³/h) = 345									
	Pressão (Pa) = 19									
Transdutores de Pressão			TP1		TP2		TP3		TP4	
			+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)			0.00	4.00	0.00	4.00	0.00	5.00	6.00	10.00
ΔP (Pa)			4.00		4.00		5.00		4.00	
2ª Medição	Caudal (m³/h) = 735									
	Pressão (Pa) = 87									
Transdutores de Pressão			TP1		TP2		TP3		TP4	
			+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)			0.00	15.00	0.00	13.00	0.00	18.00	13.00	36.00
ΔP (Pa)			15.00		13.00		18.00		23.00	
3ª Medição	Caudal (m³/h) = 1150									
	Pressão (Pa) = 212									
Transdutores de Pressão			TP1		TP2		TP3		TP4	
			+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)			0.00	34.00	0.00	31.00	0.00	43.00	48.00	78.00
ΔP (Pa)			34.00		31.00		43.00		30.00	
4ª Medição	Caudal (m³/h) = 1485									
	Pressão (Pa) = 353									
Transdutores de Pressão			TP1		TP2		TP3		TP4	
			+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)			0.00	56.00	0.00	52.00	0.00	70.00	81.00	124.00
ΔP (Pa)			56.00		52.00		70.00		43.00	
5ª Medição	Caudal (m³/h) = 1985									
	Pressão (Pa) = 632									
Transdutores de Pressão			TP1		TP2		TP3		TP4	
			+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)			0.00	100.00	0.00	94.00	0.00	126.00	136.00	211.00
ΔP (Pa)			100.00		94.00		126.00		75.00	
6ª Medição	Caudal (m³/h) = 2475									
	Pressão (Pa) = 983									
Transdutores de Pressão			TP1		TP2		TP3		TP4	
			+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)			0.00	158.00	0.00	148.00	0.00	198.00	209.00	322.00
ΔP (Pa)			158.00		148.00		198.00		113.00	

Figura 35: Exemplos dos valores obtidos no 1º ensaio da chapa perfurada para os diferentes caudais.

O próximo passo consistiu em construir uma nova tabela, mas utilizando a variação da perda de carga associada a cada transdutor de pressão. Numa outra coluna desta tabela, temos as dimensões (comprimento e largura) da chapa a ensaiar, com o objetivo de calcular a área transversal da mesma. Na última coluna foi calculada a velocidade do ar através do caudal e da área transversal. Esta tabela está representada na Figura 36.

Caudal (m³/h)	Caudal (m³/s)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Comprimento (m)	Largura (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
345	0.0958	19	4	4	5	4	0.70	0.40	0.09	1.0372
735	0.2042	87	15	13	18	23	0.70	0.40	0.09	2.2096
1150	0.3194	212	34	31	43	30	0.70	0.40	0.09	3.4572
1485	0.4125	353	56	52	70	43	0.70	0.40	0.09	4.4643
1985	0.5514	632	100	94	126	75	0.70	0.40	0.09	5.9674
2475	0.6875	983	158	148	198	113	0.70	0.40	0.09	7.4405

Figura 36: Valores obtidos no 1º ensaio da chapa perfurada para os diferentes caudais.

Por fim, foi elaborado um gráfico da variação da perda de carga, em cada transdutor, em função da velocidade do ar, como se pode observar na Figura 37.

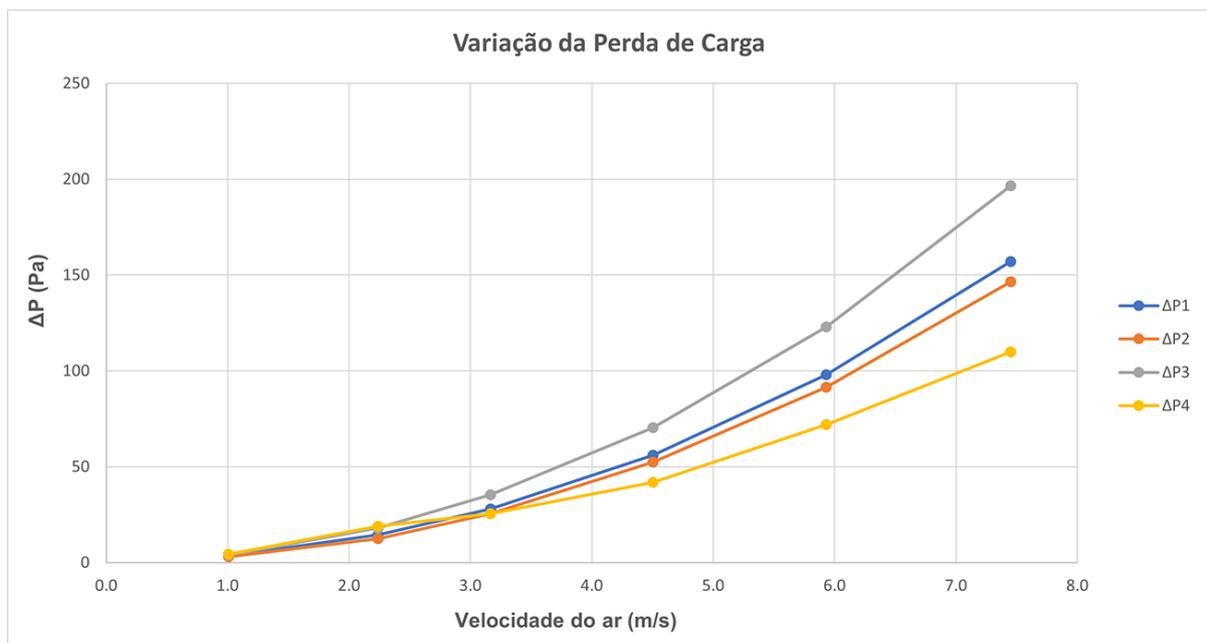


Figura 37: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Nos próximos sub-capítulos, vão ser apresentados todos os ensaios realizados, bem como os cálculos realizados com mais detalhe. De notar que, todas as folhas de cálculo do Excel que serviram de auxílio estão representadas nos Apêndices deste relatório.

4.2 Ensaio com a Chapa Perfurada

Como foi referido anteriormente, introduziu-se uma chapa perfurada no início da instalação com objetivo de uniformizar o caudal ao longo da restante conduta. Esta chapa apresenta as seguintes características:

- Chapa perfurada de furo redondo alternado a 60°;
- Raio do Furo: 3 mm;
- Distância entre os furos: 5 mm;
- % de Área Perfurada: 33%;
- Dimensões: 700 x 400 mm.

Inicialmente, realizou-se um ensaio apenas contendo esta chapa perfurada na instalação. De salientar que para todos os ensaios realizados foram registadas algumas condições, como por exemplo, temperatura, humidade relativa e a pressão, com o auxílio do equipamento OMNIPOINT 20, apresentado na Figura 38.

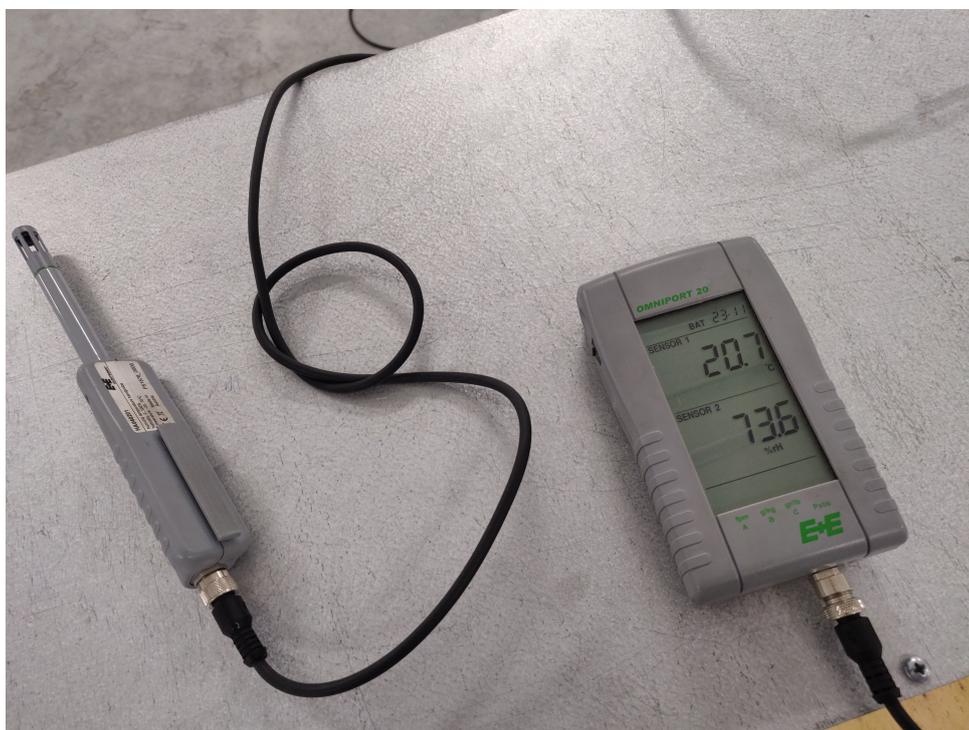


Figura 38: Equipamento OMNIPOINT 20.

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,0°C;
- Humidade Relativa: 69.5%;
- Pressão Atmosférica: 984 mbar.

Foram realizados dois ensaios para cada chapa, e determinada a respetiva média dos valores obtidos, como mencionado anteriormente. Deste modo, os resultados que vão ser apresentados ao longo do restante relatório, são os resultados provenientes das média dos dois ensaios. No entanto, quer o primeiro, quer o segundo ensaio, estão representados no Apêndices [A.1](#), [A.2](#).

A área transversal desta chapa perfurada foi calculada pela seguinte equação:

$$A_{transversal} = \text{Area da Chapa Perfurada} \times \% \text{ de Area Perfurada da Chapa (m}^2\text{)} \quad (1)$$

Relativamente ao cálculo da velocidade do ar, está representada pela equação 2.

$$V_{ar} = \frac{\text{Caudal(m}^3\text{/h)}}{3600 \times A_{transversal}} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

Uma vez realizados os dois ensaios da chapa perfurada, foram registados os valores da variação da perda de carga em cada transdutor ($\Delta P1$, $\Delta P2$, $\Delta P3$, $\Delta P4$), para os diferentes caudais apresentados, na Tabela 10.

Tabela 10: Valores obtidos no ensaio da chapa perfurada

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Comprimento (m)	Largura (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
335	18	4	3	4	5	0.70	0.40	0.09	1.0056
745	91	15	13	18	19	0.70	0.40	0.09	2.2382
1053	179	28	26	36	26	0.70	0.40	0.09	3.1641
1498	360	56	53	71	42	0.70	0.40	0.09	4.5034
1973	374	98	92	123	72	0.70	0.40	0.09	5.9298
2479	985	157	147	197	110	0.70	0.40	0.09	7.4510

Posteriormente, com o auxílio da tabela 10 elaborou-se um gráfico da variação da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, representado na Figura 39.

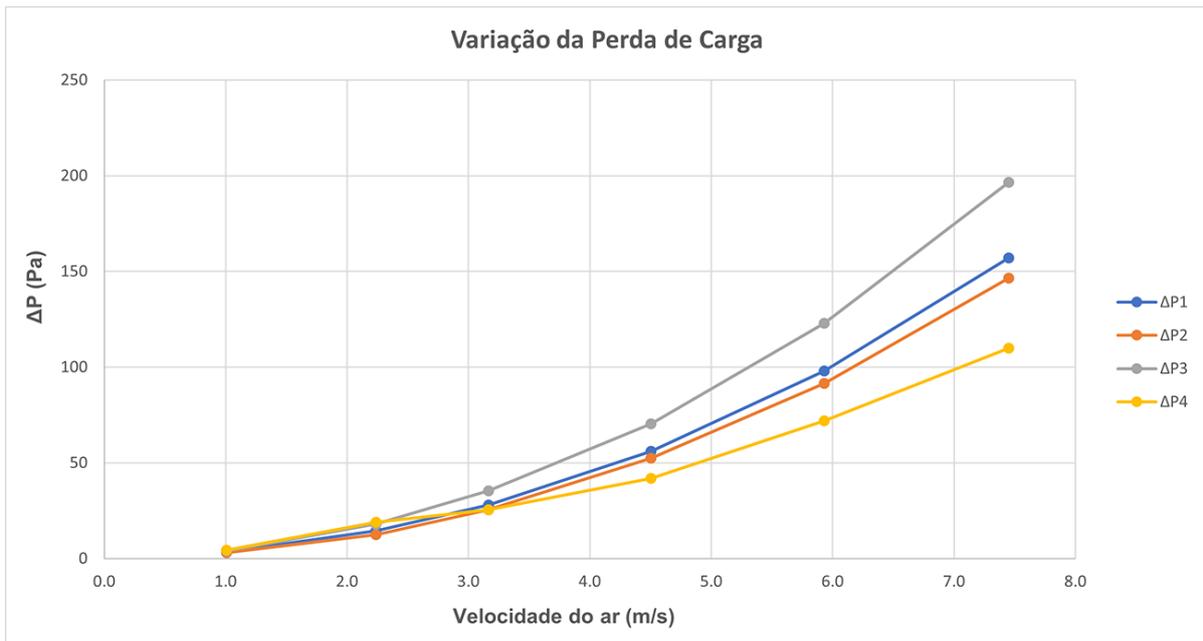


Figura 39: Variação da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Visto que a chapa perfurada se encontra entre a secção 1 e 2, como se pode observar nas Figuras 31 e 32, achou-se pertinente analisar a variação da perda de carga entre as tomas de pressão TP1 e TP2, estando representado na Figura 40, o gráfico desta variação.

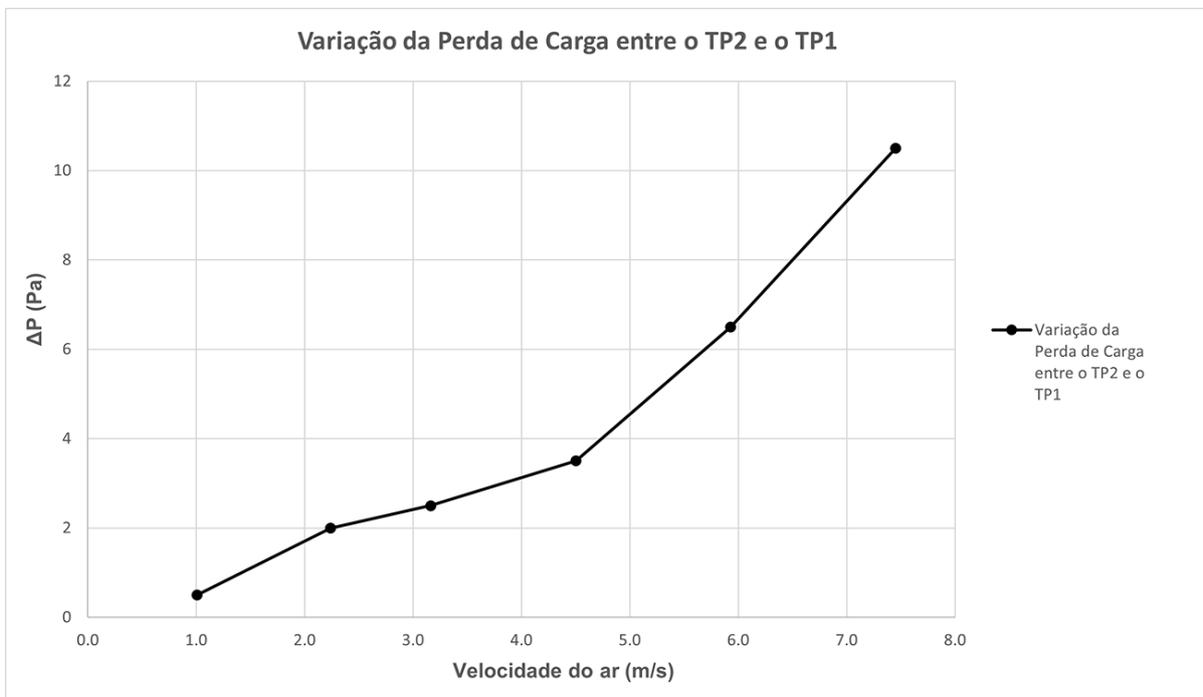


Figura 40: Variação da perda de carga entre as tomas de pressão TP2 e TP1, entre as quais está localizada a chapa perfurada, em função da velocidade do ar.

4.3 Ensaio com a Chapa N°1

Relativamente à segunda secção da instalação, referida no sub-capítulo 3.3, iremos ensaiar as três diferentes chapas que têm como objetivo simular a existência de uma roda térmica e de um registo de caudal, com diferentes geometrias, mantendo a chapa perfurada na primeira secção da instalação (de forma a procurar estabilizar/uniformizar o fluxo do ar, conforme explicado). A primeira chapa a ser ensaiada, designada por chapa N°1, apresenta as seguintes características e está representada na Figura 41:

Chapa N°1:

- Roda Térmica: Diâmetro de 330 mm;
- Registo de Caudal: 110 x 550 mm.

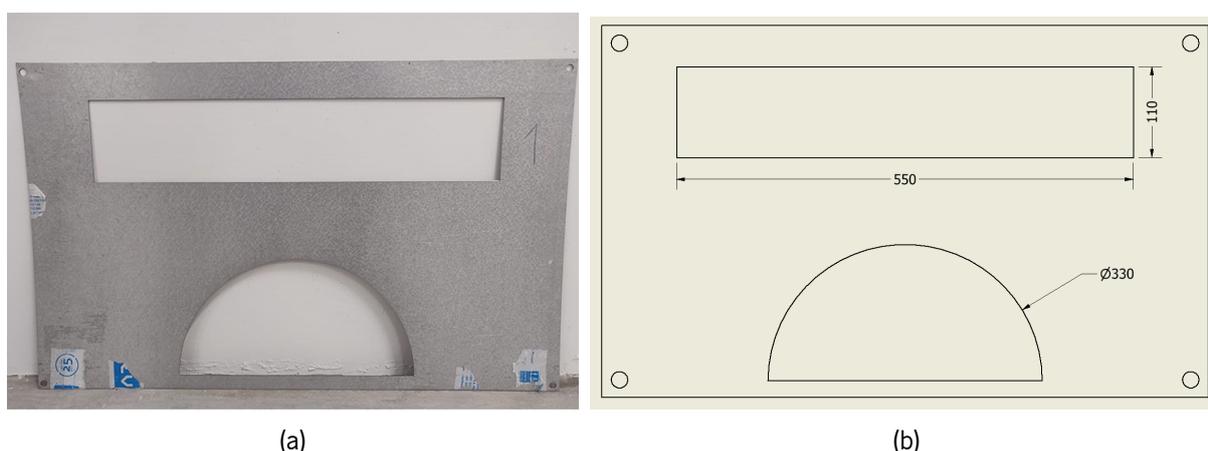


Figura 41: Características da Chapa N°1. (a) Vista frontal da chapa N°1. (b) Desenho 2D da Chapa N°1.

Como foi referido no sub-capítulo 4.1, iremos ter quatro situações diferentes de ensaio para cada uma das chapas, dependendo se o registo de caudal se encontra aberto ou fechado, e se a roda térmica está presente ou não.

4.3.1 Chapa N°1 - 1ª Situação

Na primeira situação, o registo de caudal encontra-se aberto e sem a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 42.

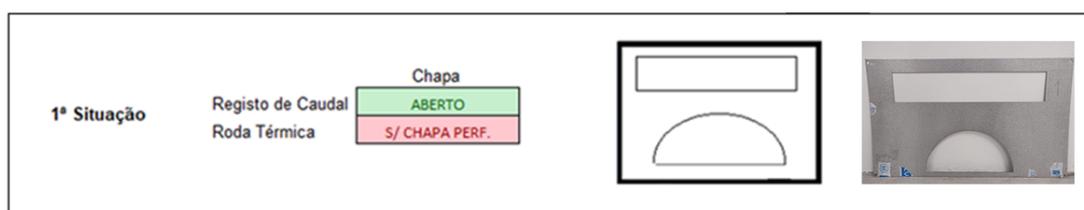


Figura 42: 1ª Situação do ensaio da chapa N°1

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,3°C;
- Humidade Relativa: 70.1%;
- Pressão Atmosférica: 991 mbar.

Nesta situação de ensaio, para o cálculo da área transversal da chapa foi necessário calcular também a área do registo de caudal, e a área da roda térmica. Através da equação 3, calculou-se a área do registo e pela equação 4, obteve-se a área da roda térmica.

$$A_{registo} = Comprimento \times Largura \text{ (m}^2\text{)} \quad (3)$$

$$A_{Roda\ Termica} = \frac{\pi \times (D_{Roda\ Termica})^2}{4} \text{ (m}^2\text{)} \quad (4)$$

Através da equação 5 calculou-se a área transversal da chapa N°1.

$$A_{transversal} = A_{registo} + \frac{A_{Roda\ Termica}}{2} \text{ (m}^2\text{)} \quad (5)$$

Por fim, já é possível calcular a velocidade do ar, através da equação 2.

Na Tabela 11 é possível observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 11: Valores obtidos no ensaio da chapa n°1, com registo de caudal aberto e sem a roda térmica.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	ΔP1 (Pa)	ΔP2 (Pa)	ΔP3 (Pa)	ΔP4 (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
339	19	5	5	5	5	0.06	0.09	0.10	0.9105
749	90	16	19	23	16	0.06	0.09	0.10	2.0148
1114	199	33	42	50	30	0.06	0.09	0.10	2.9953
1507	364	59	76	93	46	0.06	0.09	0.10	4.0524
1971	623	101	130	160	73	0.06	0.09	0.10	5.3019
2442	956	156	202	248	108	0.06	0.09	0.10	6.5689

Um gráfico da variação da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar, foi elaborado com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, representado na Figura 43.

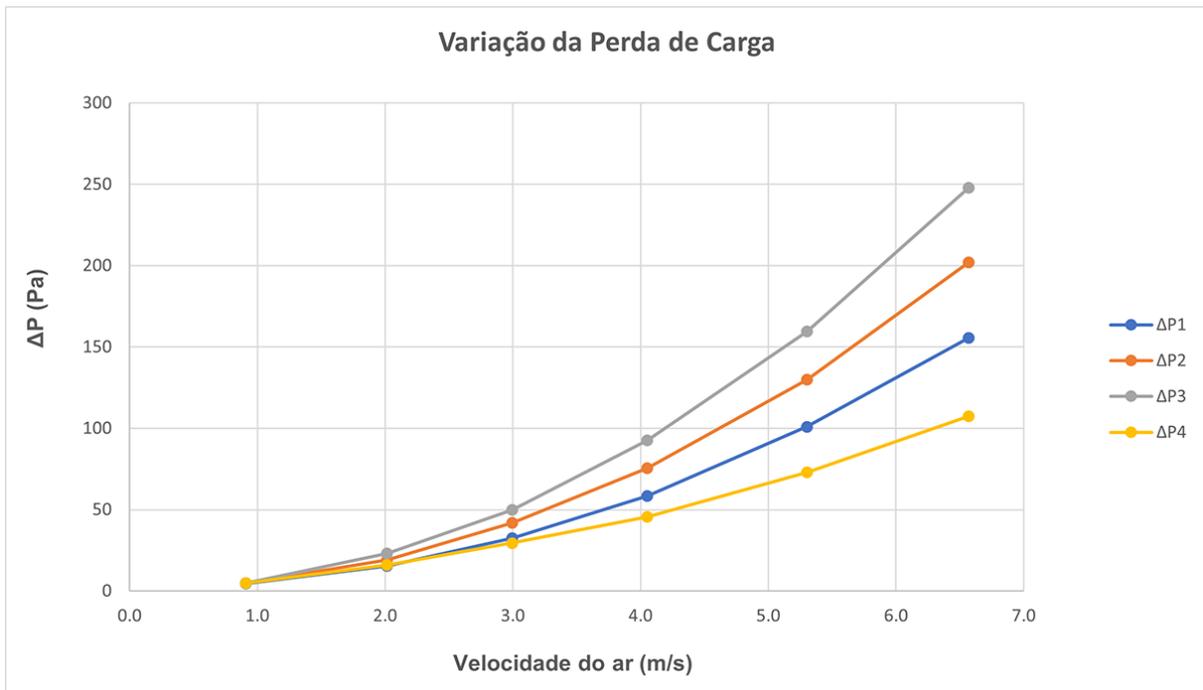


Figura 43: Variação da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar.

E esta chapa está situada entre os transdutores TP3 e TP2, como se pode observar nas Figuras 31 e 32. Foi realizado um gráfico com o objetivo de facilitar a análise da variação da perda de carga entre estes dois transdutores. (Ver Figura 44.)

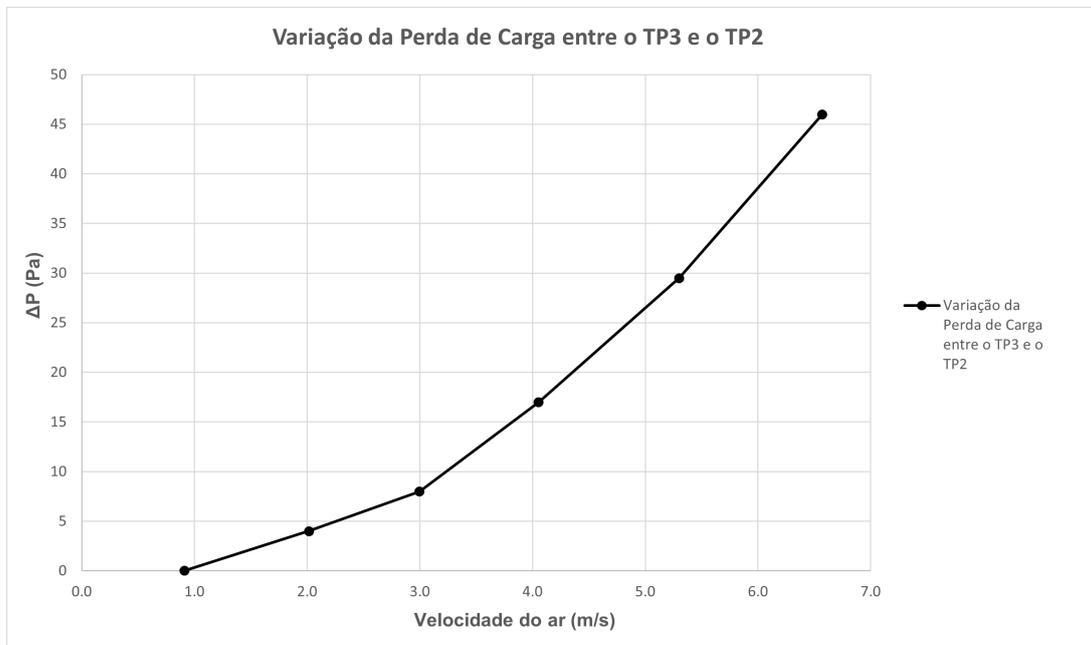


Figura 44: Variação da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 1ª Situação

4.3.2 Chapa N^o1 - 2^a Situação

Na segunda situação, o registo de caudal encontra-se aberto mas já temos a presença da roda térmica, simulada através da chapa perfurada, como é possível observar na Figura 45.

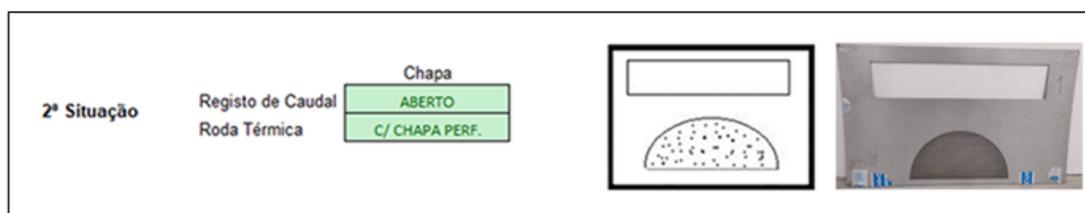


Figura 45: 2ª Situação do ensaio da chapa N^o1

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,0°C;
- Humidade Relativa: 73.7%;
- Pressão Atmosférica: 993 mbar.

Nesta situação de ensaio, o cálculo da área transversal irá ser diferente, pois temos uma chapa perfurada a simular a presença da roda térmica, sendo necessário multiplicar a área da roda térmica por 0.33, que é a percentagem de área perfurada da chapa. Na equação 6 é apresentado o cálculo desta área transversal.

$$A_{transversal} = A_{registo} + \left(\frac{A_{Roda\ Térmica}}{2} \times 0.33 \right) (m^2) \quad (6)$$

Visto que a área do registo e da roda térmica são as mesmas da 1^o situação, já é possível calcular a velocidade do ar, através da equação 2.

Na Tabela 12 é possível observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão, para as diferentes velocidades de ensaio.

Tabela 12: Valores obtidos no ensaio da chapa n^o1, na 2^o situação.

Caudal (m ³ /h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m ²)	Velocidade (m/s)
368	22	4	5	7	7	0.06	0.09	0.07	1.3700
743	89	14	19	29	16	0.06	0.09	0.07	2.7643
1146	211	33	43	67	29	0.06	0.09	0.07	4.2665
1549	385	60	79	122	48	0.06	0.09	0.07	5.7650
1934	599	95	123	193	69	0.06	0.09	0.07	7.1983
2393	917	146	192	300	101	0.06	0.09	0.07	8.9071

Na Figura 46 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

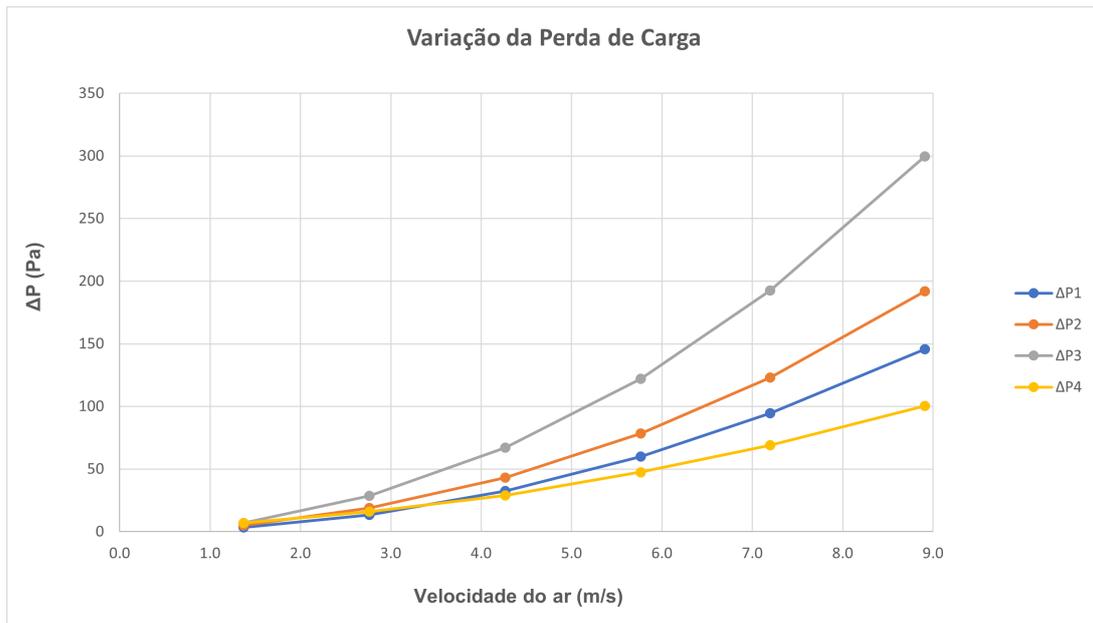


Figura 46: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 47.

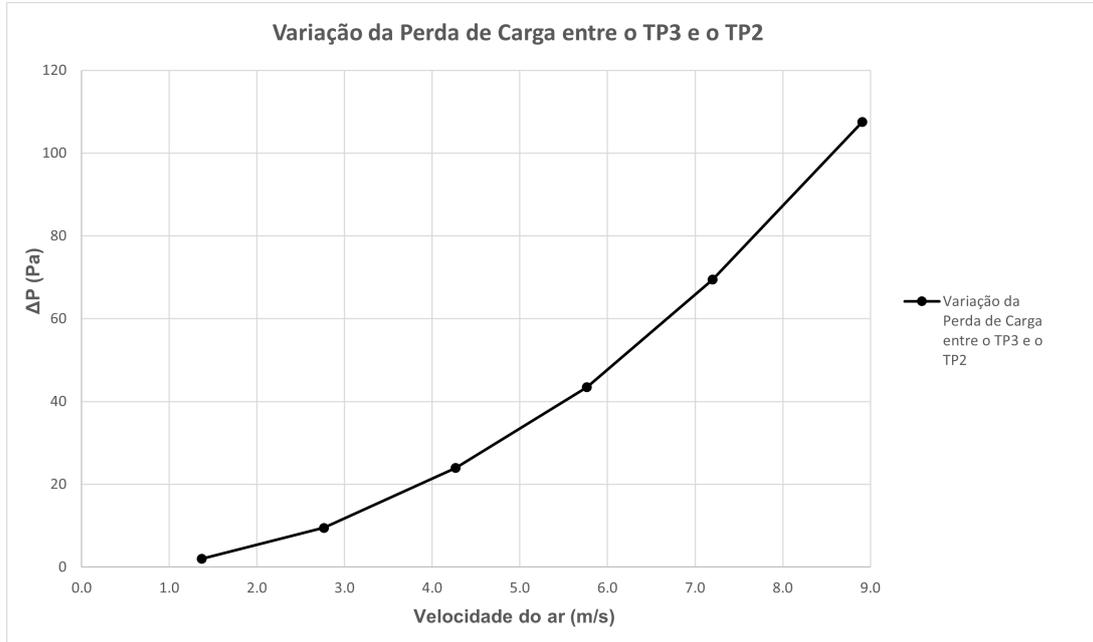


Figura 47: Variação da perda de carga observada entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 2ª Situação.

4.3.3 Chapa N^o1 - 3^a Situação

No que diz respeito à terceira situação de estudo, o registo de caudal encontra-se fechado e com a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 48.

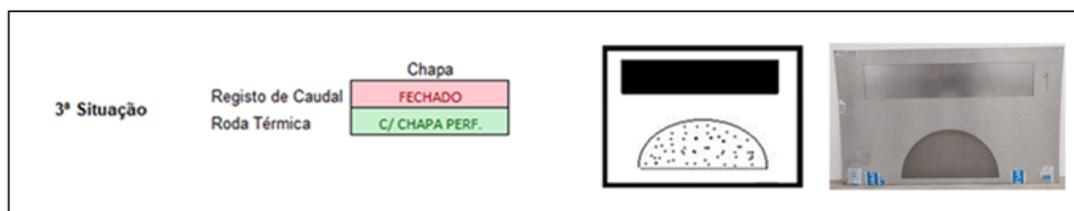


Figura 48: 3^a Situação do ensaio da chapa N^o1

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 22,9°C;
- Humidade Relativa: 74.5%;
- Pressão Atmosférica: 985 mbar.

Nesta situação de ensaio, pelo facto de termos presente a roda térmica e o registo de caudal se encontrar fechado, apenas iremos contabilizar a área da roda térmica no cálculo da área transversal. Na equação 7 está representada o cálculo desta área transversal.

$$A_{transversal} = \left(\frac{A_{Roda\ Térmica}}{2} \times 0.33 \right) (m^2) \quad (7)$$

Na Tabela 13 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 13: Valores obtidos no ensaio da chapa n^o1, na 3^o situação.

Caudal (m ³ /h)	Pressão (Pa)	ΔP1 (Pa)	ΔP2 (Pa)	ΔP3 (Pa)	ΔP4 (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m ²)	Velocidade (m/s)
348	20	3	3	39	9	0.06	0.09	0.01	6.8399
669	72	10	12	154	17	0.06	0.09	0.01	13.1681
907	133	17	23	302	27	0.06	0.09	0.01	17.8527
1084	189	26	33	433	34	0.06	0.09	0.01	21.3366
1214	237	32	42	559	41	0.06	0.09	0.01	23.8954
1386	308	42	56	747	51	0.06	0.09	0.01	27.2711

Na Figura 49 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

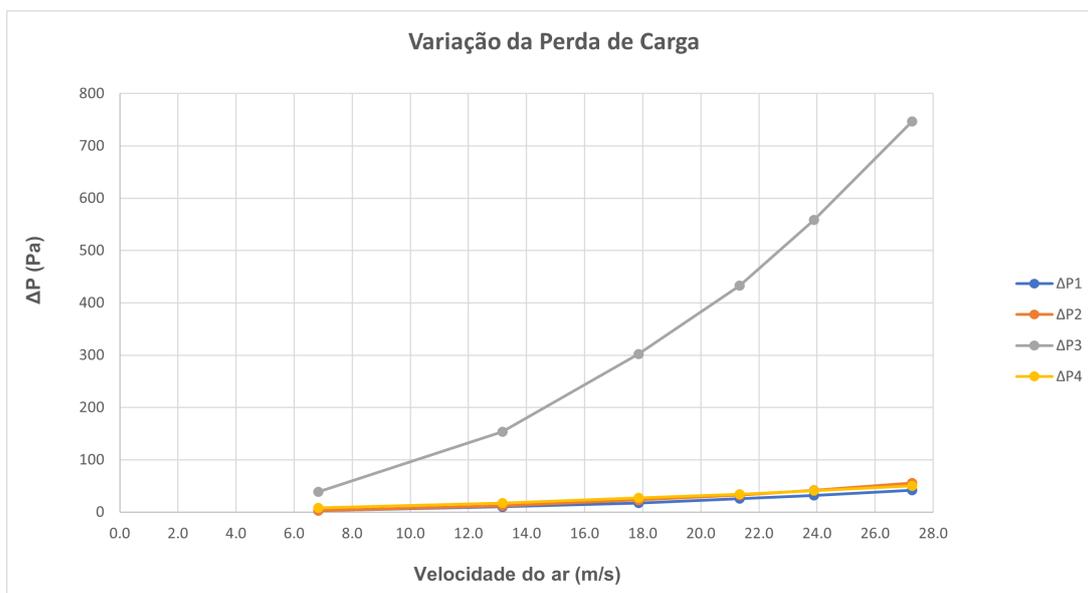


Figura 49: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 50.

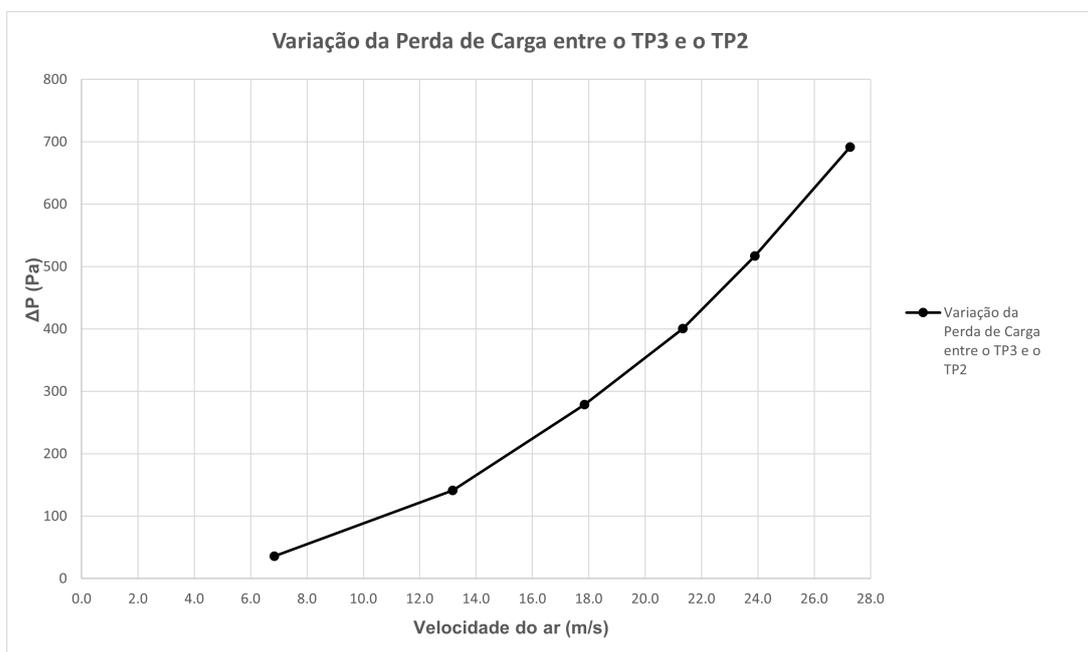


Figura 50: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 3ª Situação.

4.3.4 Chapa N°1 - 4ª Situação

Relativamente à quarta situação de estudo, o registo de caudal também se encontra fechado, no entanto não temos a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 51.

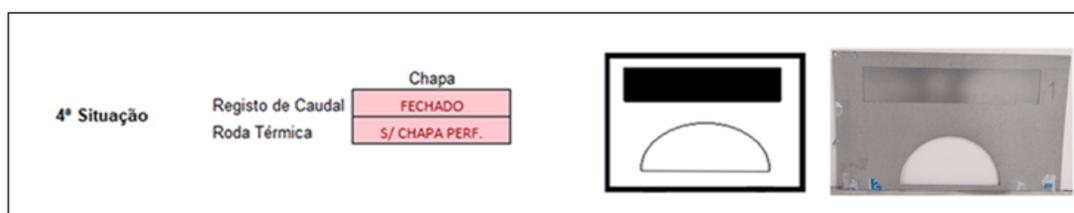


Figura 51: 4ª Situação do ensaio da chapa N°1

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 22,6°C;
- Humidade Relativa: 73.8%;
- Pressão Atmosférica: 981 mbar.

Nesta situação de ensaio, a área transversal irá ser calculada apenas contabilizando a área da roda térmica, sem a multiplicação pela percentagem de área perfurada, pois neste caso não temos a roda térmica presente. Este cálculo está representado na equação 8.

$$A_{transversal} = \left(\frac{A_{Roda\ Térmica}}{2} \right) (m^2) \quad (8)$$

Na Tabela 14 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 14: Valores obtidos no ensaio da chapa n°1, na 4ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
396	26	5	6	18	7	0.06	0.09	0.04	2.5722
805	104	17	21	64	19	0.06	0.09	0.04	5.2288
1241	249	39	50	148	36	0.06	0.09	0.04	8.0576
1604	413	65	83	244	55	0.06	0.09	0.04	10.4155
1907	583	91	118	340	71	0.06	0.09	0.04	12.3836
2182	763	121	156	419	87	0.06	0.09	0.04	14.1698

Na Figura 52 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

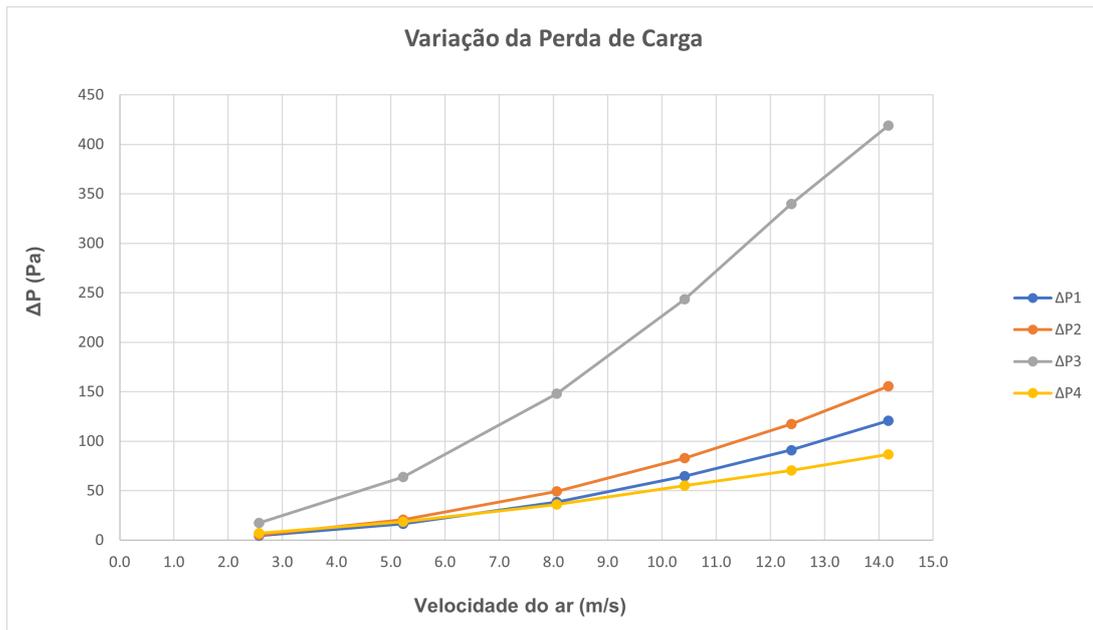


Figura 52: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 53.

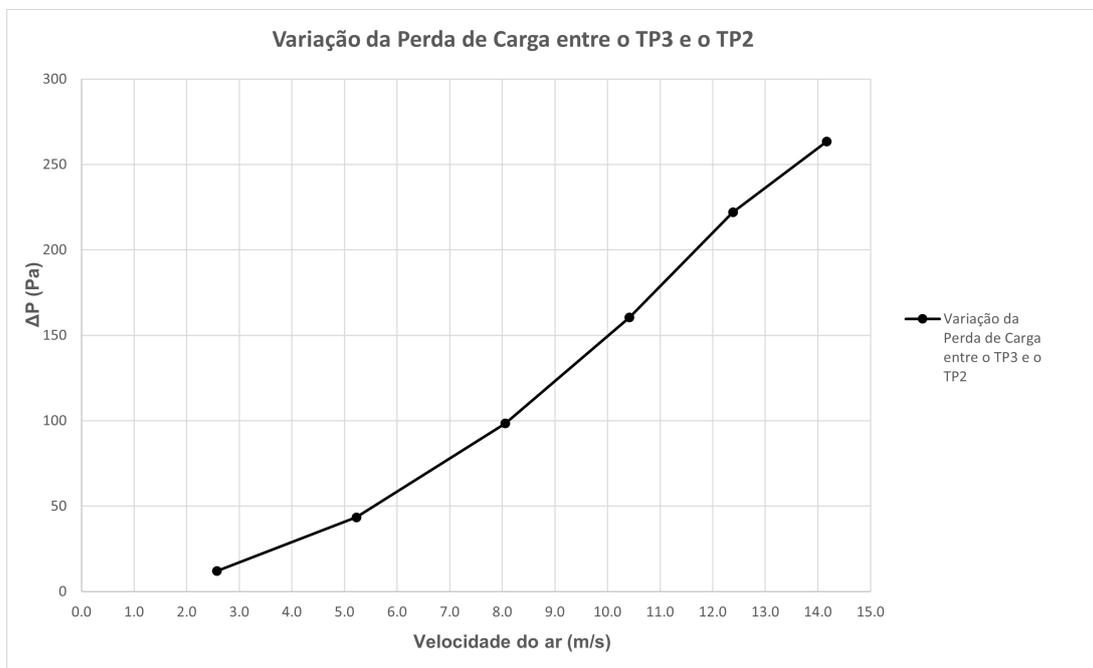


Figura 53: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°1, 4ª Situação.

De seguida, está representado um gráfico onde se pode observar as variações da perda de carga entre o TP3 e o TP2, para as situações de estudo apresentadas anteriormente.

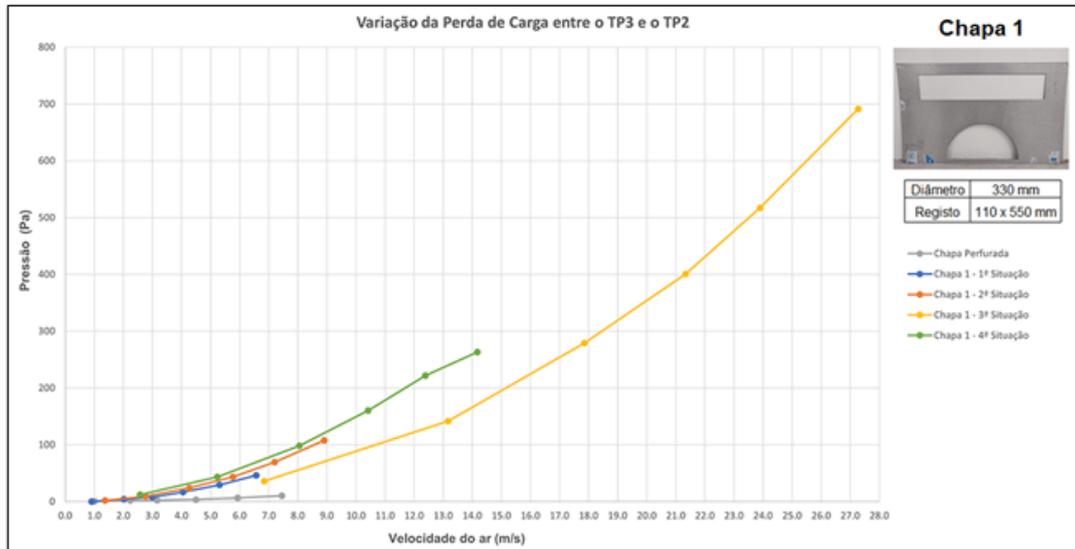


Figura 54: Variação da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, nas diferentes situações de estudo.

4.4 Ensaio com a Chapa N^o2

Relativamente à segunda chapa, está representada na Figura 55 e apresenta as seguintes características:

Chapa N^o2:

- Roda Térmica: Diâmetro de 490 mm;
- Registo de Caudal: 110 x 550 mm.

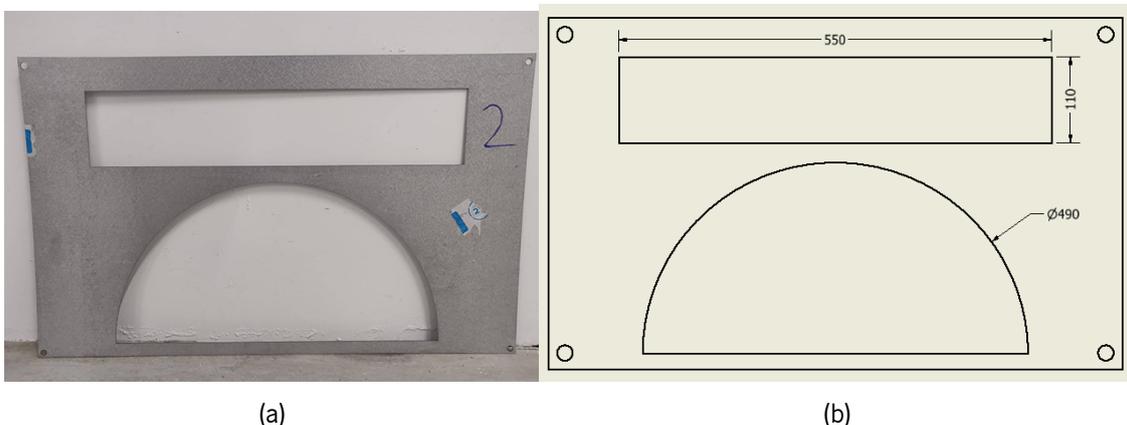


Figura 55: Características da Chapa N^o2. (a) Vista frontal da chapa N^o2. (b) Desenho 2D da Chapa N^o2.

De seguida, procedeu-se ao mesmo método apresentado anteriormente, no que diz respeito às quatro situações a estudar.

4.4.1 Chapa Nº2 - 1ª Situação

Na primeira situação, o registo de caudal encontra-se aberto e sem a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 56.

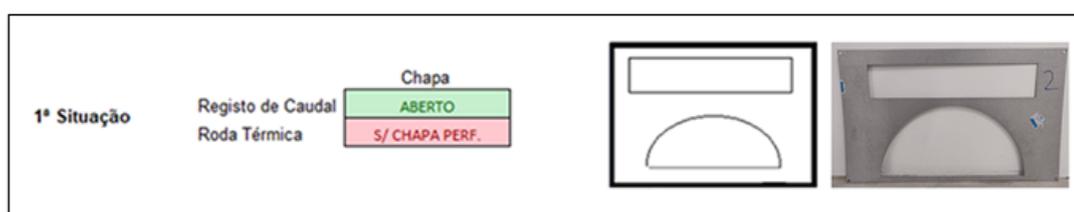


Figura 56: 1ª Situação do ensaio da chapa Nº2

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 23,1°C;
- Humidade Relativa: 74.5%;
- Pressão Atmosférica: 985 mbar.

Como referido anteriormente, através das equações 5 e 2, calculou-se a área transversal e a velocidade do ar, respetivamente. Na tabela 15 estão representados os resultados obtidos no ensaio, dos diferentes de transdutores de pressão.

Tabela 15: Valores obtidos no ensaio da chapa nº2, na 1º situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
408	27	3	6	6	8	0.06	0.19	0.15	0.7313
755	92	14	20	21	20	0.06	0.19	0.15	1.3549
1102	195	30	41	44	33	0.06	0.19	0.15	1.9767
1514	367	59	77	82	48	0.06	0.19	0.15	2.7161
1966	620	99	131	139	71	0.06	0.19	0.15	3.5281
2435	950	155	205	218	102	0.06	0.19	0.15	4.3698

Um gráfico da variação da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar, foi elaborado com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, representado na Figura 57.

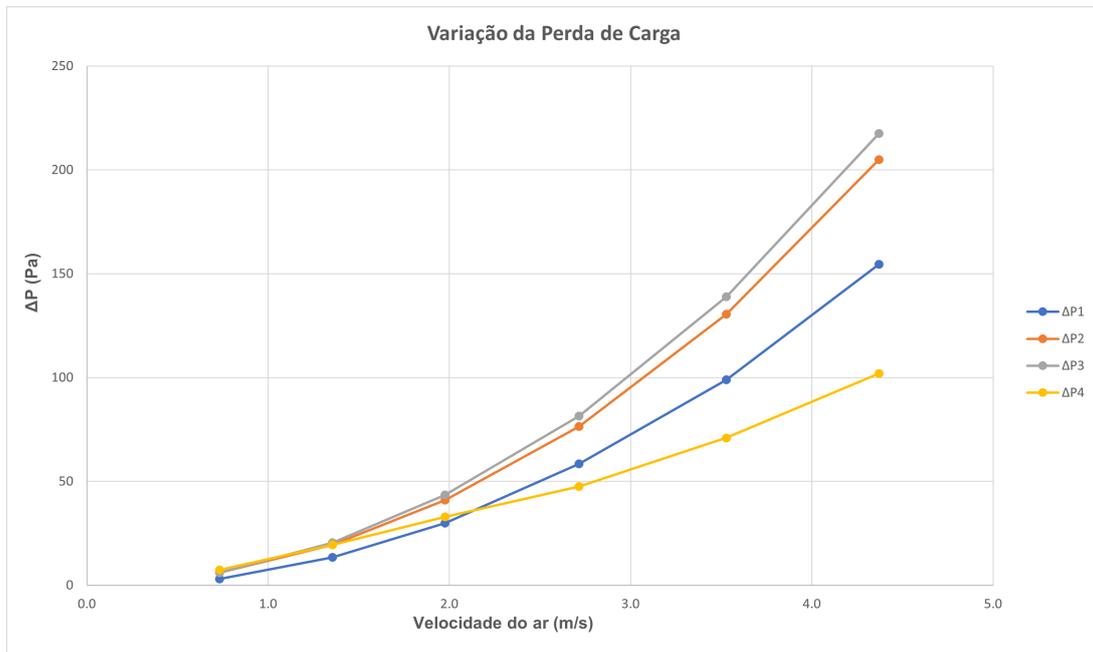


Figura 57: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Relativamente a esta chapa, está situada entre os transdutores TP3 e TP2, tendo sido realizado um gráfico com o objetivo de analisar a variação da perda de carga entres estes dois transdutores. Pode-se visualizar o respetivo gráfico na Figura 58.

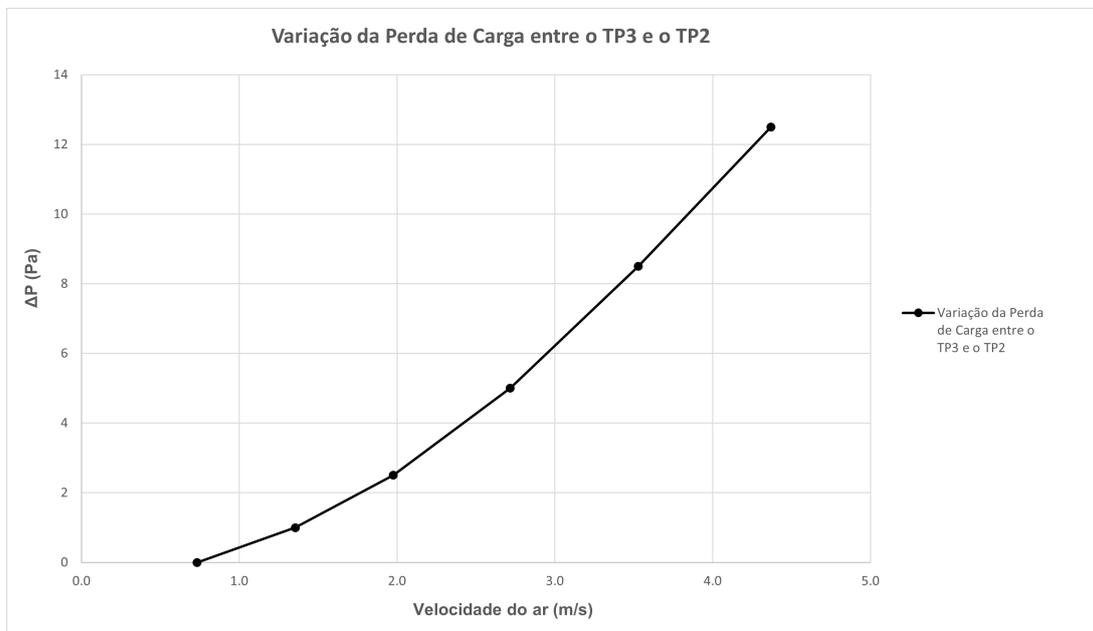


Figura 58: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 1ª Situação.

4.4.2 Chapa N°2 - 2ª Situação

Na Figura 59, observamos a segunda situação a ensaiar da chapa N°2, onde vemos presente a roda térmica, mantendo o registo de caudal aberto.

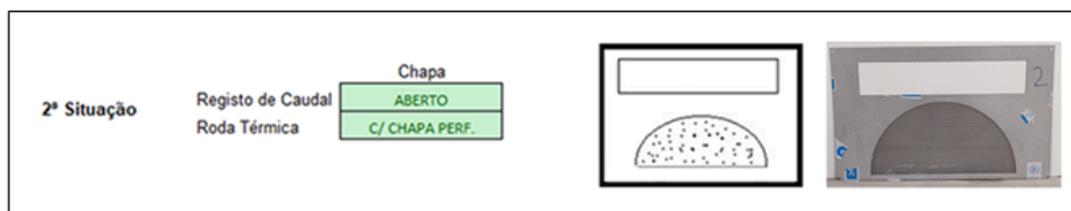


Figura 59: 2ª Situação do ensaio da chapa N°2

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,0°C;
- Humidade Relativa: 67.3%;
- Pressão Atmosférica: 987 mbar.

Nesta situação de ensaio, o cálculo da área transversal é diferente, pois temos uma chapa perfurada a simular a presença da roda térmica, sendo necessário multiplicar a área da roda térmica por 0.33, que é a percentagem de área perfurada da chapa. Este cálculo foi realizado através da equação 6. Na Tabela 16 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 16: Valores obtidos no ensaio da chapa n°2, na 2ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
394	25	5	6	8	7	0.06	0.19	0.09	1.1946
792	101	17	21	28	18	0.06	0.19	0.09	2.4014
1122	202	33	43	56	29	0.06	0.19	0.09	3.4004
1537	379	61	79	104	47	0.06	0.19	0.09	4.6602
1955	612	98	129	168	71	0.06	0.19	0.09	5.9261
2398	921	147	195	255	101	0.06	0.19	0.09	7.2693

Na Figura 60 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

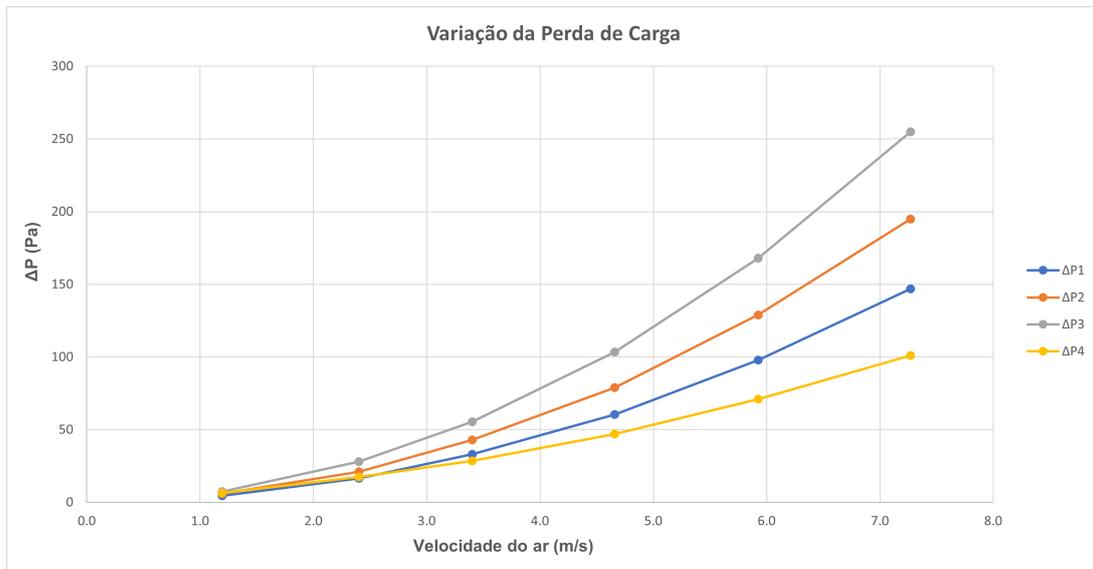


Figura 60: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 61.

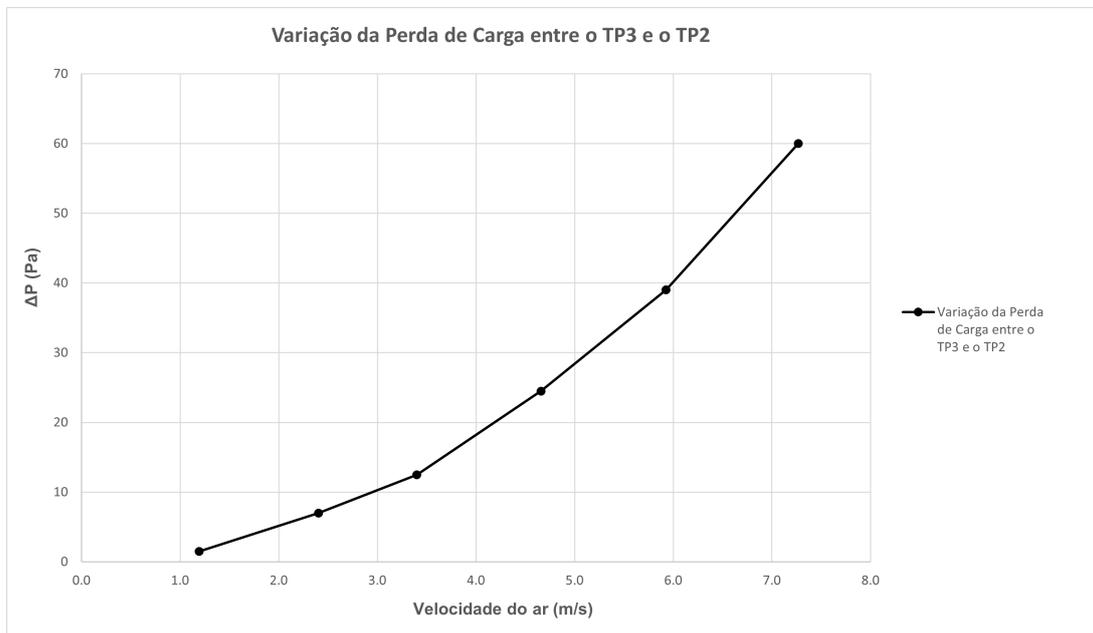


Figura 61: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 2ª Situação.

4.4.3 Chapa N°2 - 3ª Situação

No que diz respeito à terceira situação de estudo, o registo de caudal encontra-se fechado e com a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 62.

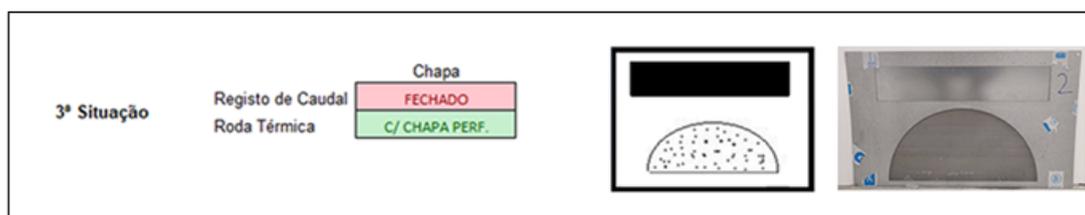


Figura 62: 3ª Situação do ensaio da chapa N°2

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,5°C;
- Humidade Relativa: 72.4%;
- Pressão Atmosférica: 984 mbar.

Nesta situação de ensaio, apenas iremos contabilizar a área da roda térmica no cálculo da área transversal, pois como se pode observar na Figura 62, o registo de caudal encontra-se fechado. Na equação 7 está representada o cálculo desta área transversal.

Na Tabela 17 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 17: Valores obtidos no ensaio da chapa n°2, na 3ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
371	22	3	5	14	7	0.06	0.19	0.03	3.3121
732	86	13	17	53	16	0.06	0.19	0.03	6.5305
1039	173	26	34	106	25	0.06	0.19	0.03	9.2712
1420	323	49	64	202	42	0.06	0.19	0.03	12.6771
1833	540	82	108	339	67	0.06	0.19	0.03	16.3642
2063	682	104	137	435	81	0.06	0.19	0.03	18.4130

Na Figura 63 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

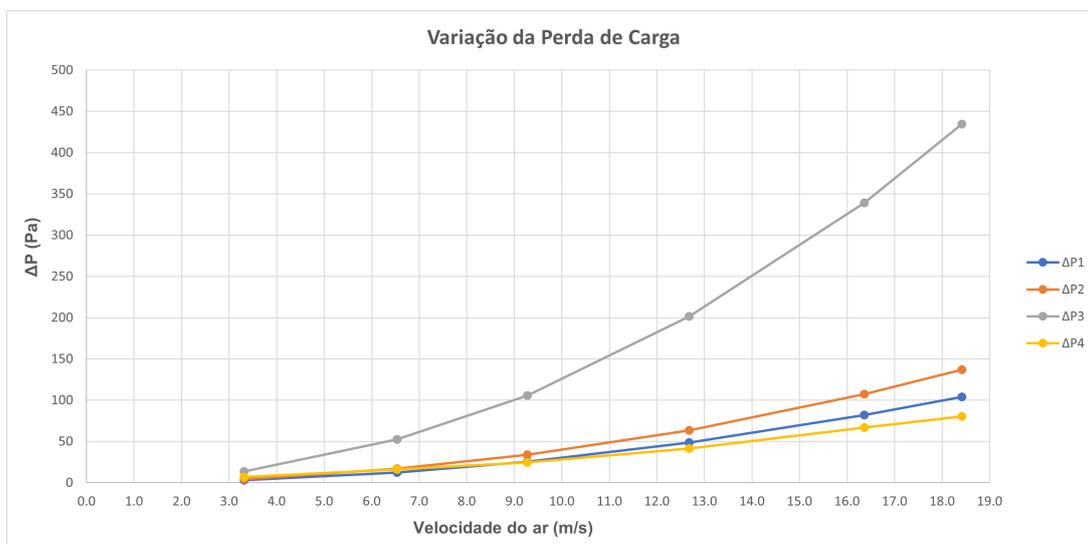


Figura 63: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 64.

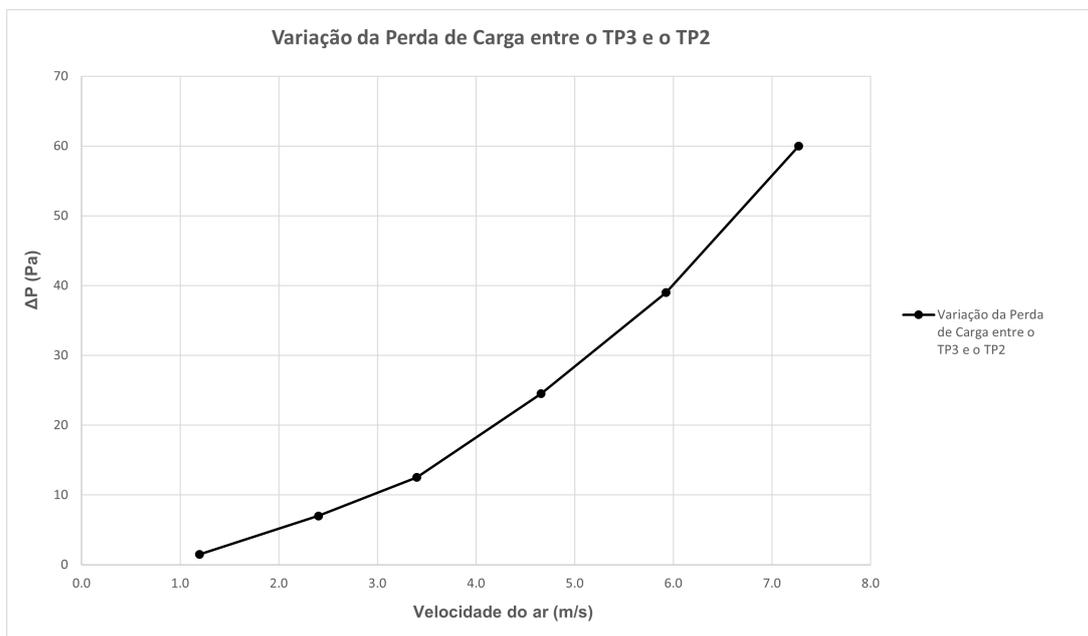


Figura 64: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 3ª Situação.

4.4.4 Chapa N°2 - 4ª Situação

Relativamente à 4ª situação de estudo, o registo de caudal também se encontra fechado, no entanto não temos a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 65.

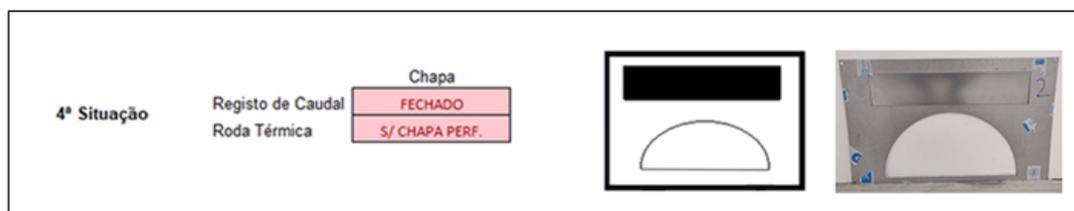


Figura 65: 4ª Situação do ensaio da chapa N°2

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,7°C;
- Humidade Relativa: 68.7%;
- Pressão Atmosférica: 985 mbar.

Nesta situação de ensaio, a área transversal irá ser calculada apenas contabilizando a área da roda térmica, mas neste caso não iremos ter em conta o fator da percentagem de área perfurada, pois a roda térmica não se encontra presente. Este cálculo está representado na equação 8.

Na Tabela 18 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 18: Valores obtidos no ensaio da chapa n°2, na 4ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
380	24	3	6	6	9	0.06	0.19	0.04	1.1195
746	90	13	20	25	19	0.06	0.19	0.04	2.1978
1138	208	33	43	58	29	0.06	0.19	0.04	3.3526
1575	398	63	83	112	50	0.06	0.19	0.04	4.6401
2030	661	107	140	188	78	0.06	0.19	0.04	5.9806
2392	917	148	197	265	102	0.06	0.19	0.04	7.0456

Na Figura 66 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

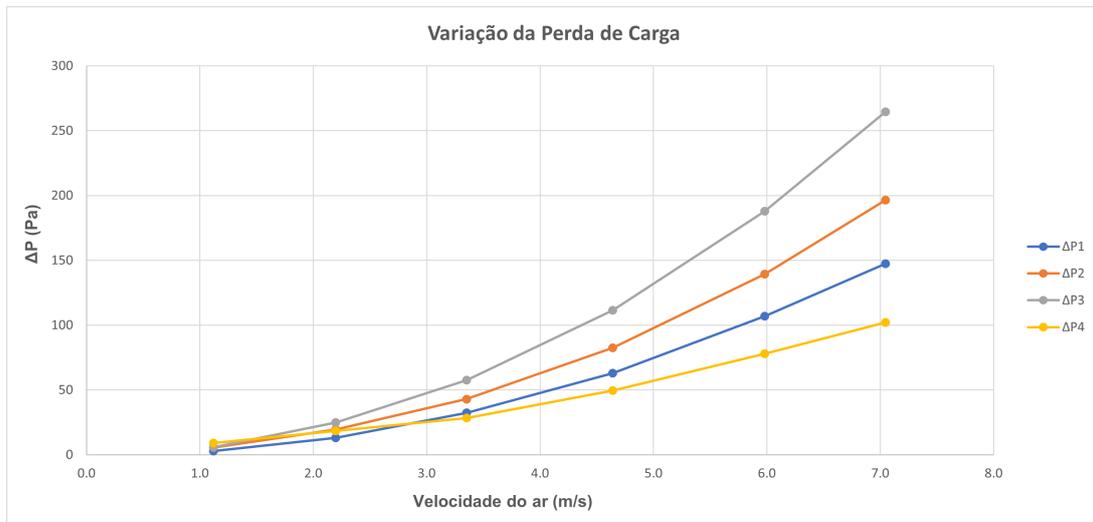


Figura 66: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 67.

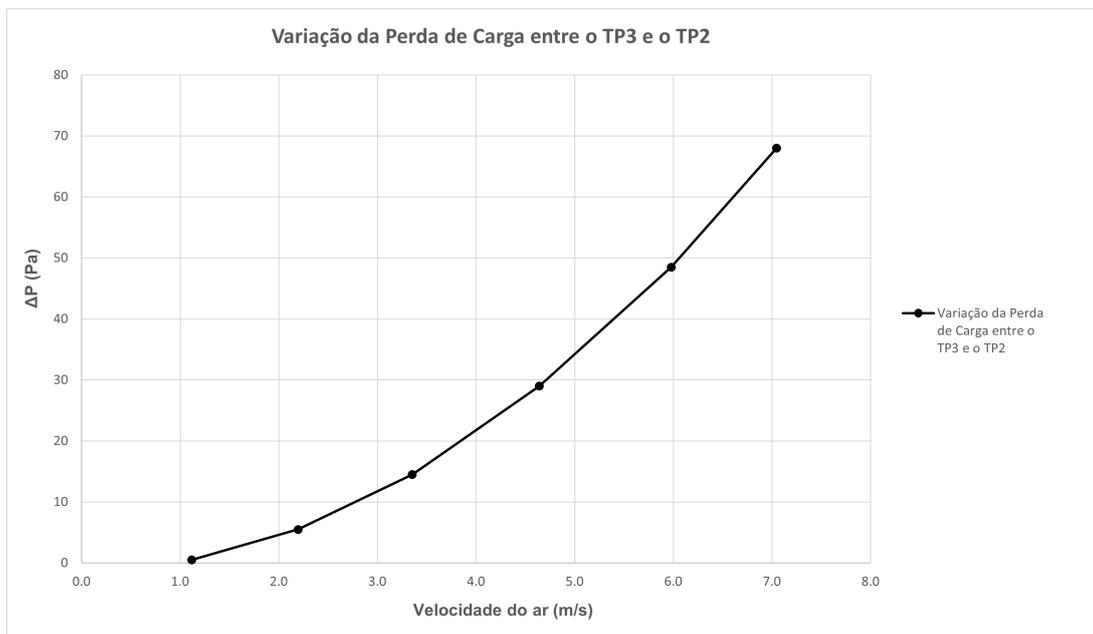


Figura 67: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°2, 4ª Situação.

De seguida, está representado um gráfico onde se pode observar as variações da perda de carga entre o TP3 e o TP2, para as situações de estudo apresentadas anteriormente.

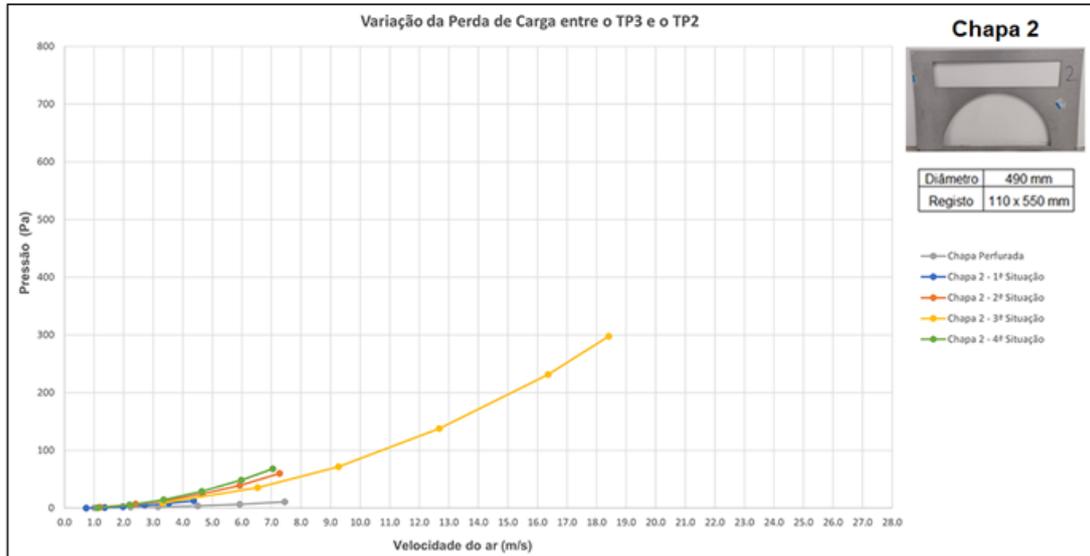


Figura 68: Variação da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, nas diferentes situações de estudo.

4.5 Ensaio com a Chapa N^o3

Relativamente à última chapa, está representada na Figura 69 e apresenta as seguintes características:

Chapa N^o3:

- Roda Térmica: Diâmetro de 600 mm;
- Registo de Caudal: 55 x 550 mm.

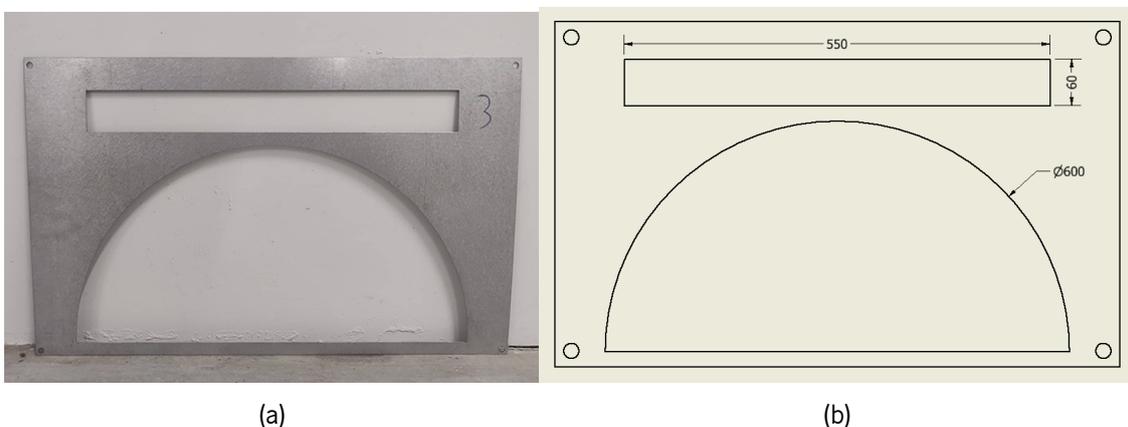


Figura 69: Características da Chapa N^o3. (a) Vista frontal da chapa N^o3. (b) Desenho 2D da Chapa N^o3.

Esta última chapa é bastante diferente das chapas apresentadas anteriormente, pois para além do diâmetro da roda térmica ser maior, as dimensões do registo de caudal também são diferentes. De seguida vão ser apresentadas as quatro diferentes situações de estudo para esta chapa.

4.5.1 Chapa N°3 - 1ª Situação

Na primeira situação, o registo de caudal encontra-se aberto e sem a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 70.

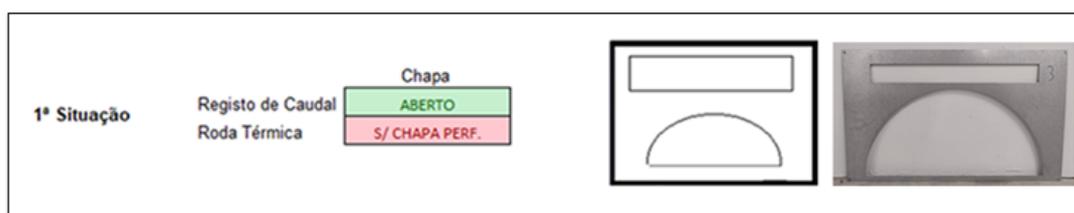


Figura 70: 1ª Situação do ensaio da chapa N°3

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,9°C;
- Humidade Relativa: 68.8%;
- Pressão Atmosférica: 985 mbar.

Como referido anteriormente, através das equações 5 e 2, calculou-se a área transversal e a velocidade do ar, respetivamente. Na tabela 19 estão representados os resultados obtidos no ensaio, dos diferentes de transdutores de pressão.

Tabela 19: Valores obtidos no ensaio da chapa n°3, na 1ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
331	18	3	4	5	5	0.03	0.28	0.17	0.5265
733	86	14	18	20	15	0.03	0.28	0.17	1.1677
1135	206	34	43	46	33	0.03	0.28	0.17	1.8073
1544	382	62	80	84	46	0.03	0.28	0.17	2.4596
1955	612	101	129	135	68	0.03	0.28	0.17	3.1136
2433	948	155	204	212	102	0.03	0.28	0.17	3.8750

Um gráfico da variação da perda de carga em cada transdutor em função da velocidade do ar, foi elaborado com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, representado na Figura 71.

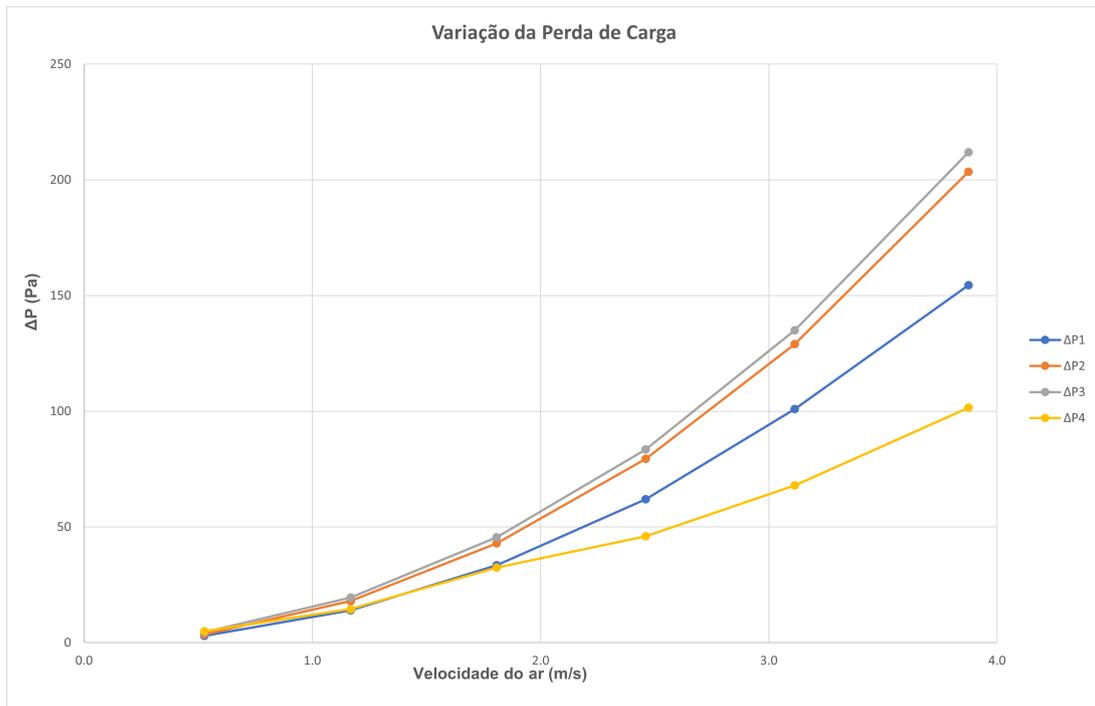


Figura 71: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Esta chapa encontra-se entre os transdutores TP3 e TP2, tendo sido realizado um gráfico com o objetivo de analisar a variação da perda de carga entres estes dois transdutores. Pode-se visualizar o respetivo gráfico na Figura 72.

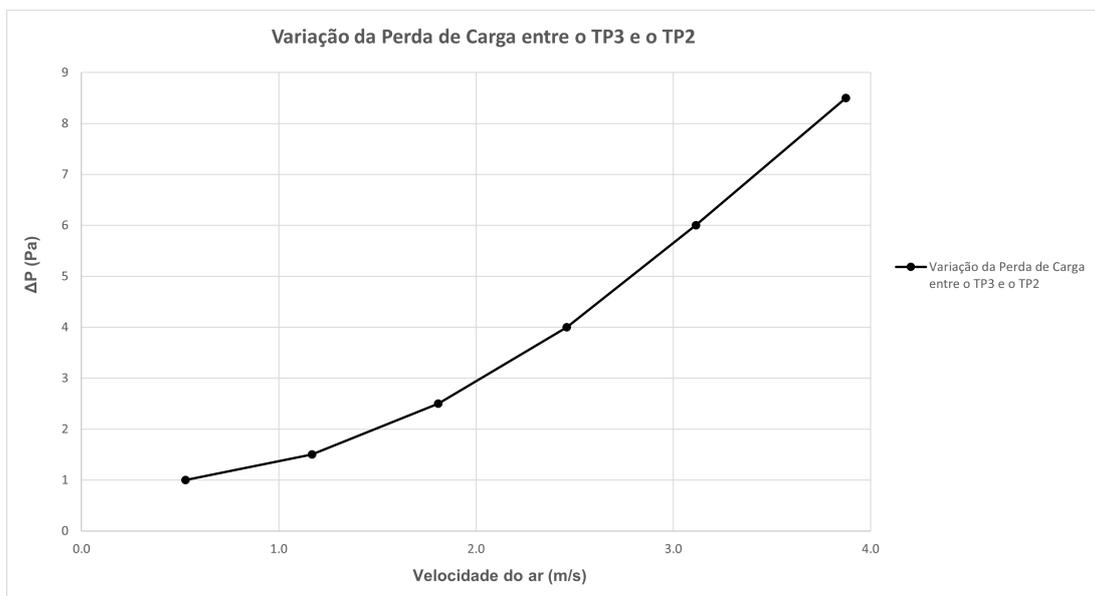


Figura 72: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 1ª Situação.

4.5.2 Chapa N°3 - 2ª Situação

Na Figura 73, observamos a segunda situação a ensaiar da chapa N°3, onde vemos presente a roda térmica, mantendo o registo de caudal aberto.

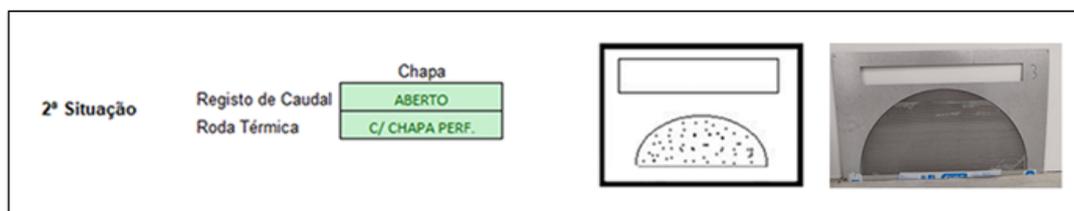


Figura 73: 2ª Situação do ensaio da chapa N°3

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,9°C;
- Humidade Relativa: 68.8%;
- Pressão Atmosférica: 985 mbar.

Nesta situação de ensaio, o cálculo da área transversal é diferente, pois temos uma chapa perfurada a simular a presença da roda térmica, sendo necessário multiplicar a área da roda térmica por 0.33, que é a percentagem de área perfurada da chapa. Este cálculo foi realizado através da equação 6. Na Tabela 20 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 20: Valores obtidos no ensaio da chapa n°3, na 2ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
380	23	4	5	8	7	0.03	0.28	0.08	1.3252
767	95	15	20	29	15	0.03	0.28	0.08	2.6731
1155	214	34	44	63	30	0.03	0.28	0.08	4.0262
1552	386	62	80	114	49	0.03	0.28	0.08	5.4124
1970	622	99	129	183	72	0.03	0.28	0.08	6.8684
2374	904	148	192	270	98	0.03	0.28	0.08	8.2790

Na Figura 74 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

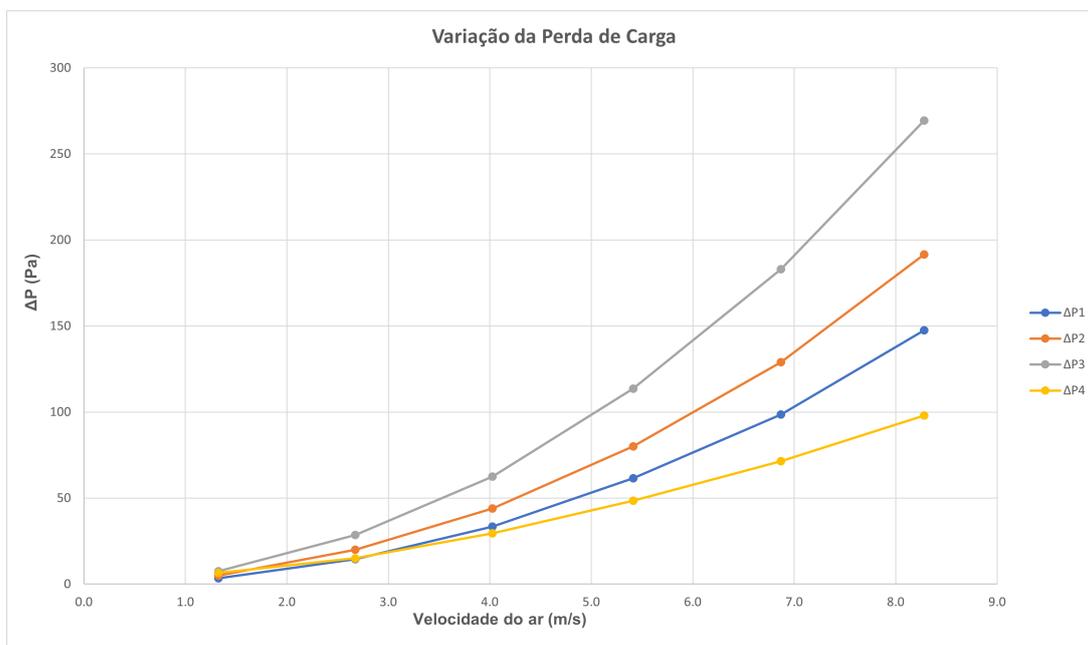


Figura 74: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 75.

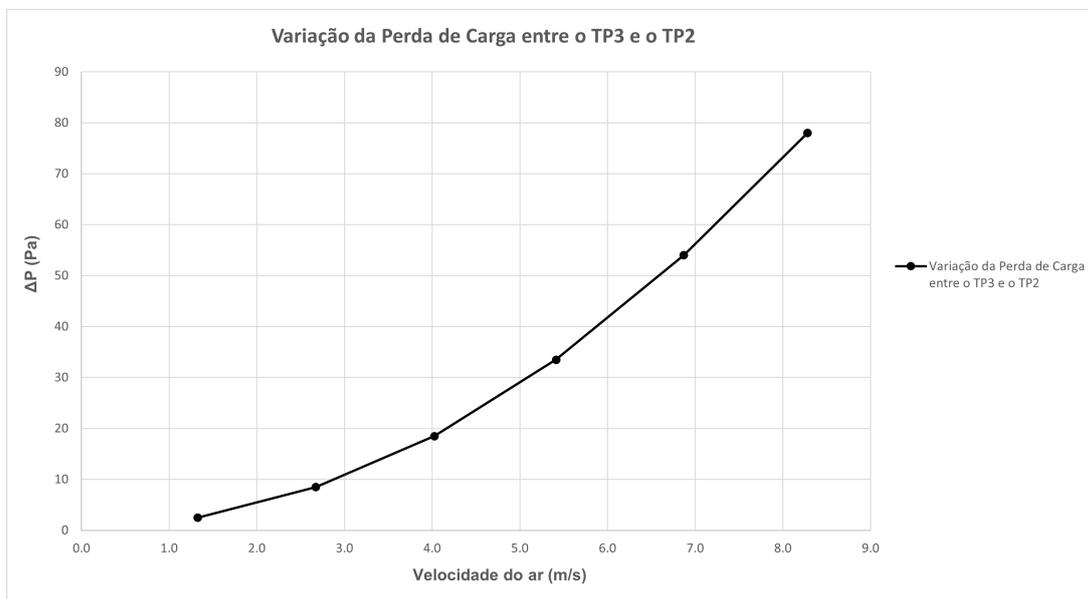


Figura 75: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 2ª Situação.

4.5.3 Chapa N°3 - 3ª Situação

No que diz respeito à terceira situação de estudo, o registo de caudal encontra-se fechado e com a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 76.

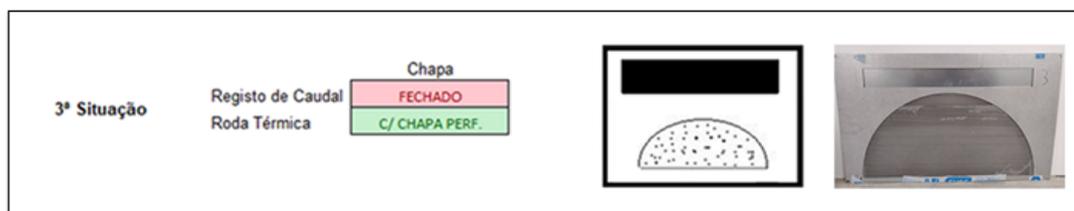


Figura 76: 3ª Situação do ensaio da chapa N°3

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,0°C;
- Humidade Relativa: 67.3%;
- Pressão Atmosférica: 984 mbar.

Nesta situação de ensaio, apenas iremos contabilizar a área da roda térmica no cálculo da área transversal, pois como se pode observar na Figura 76, o registo de caudal encontra-se fechado. Na equação 7 está representada o cálculo desta área transversal.

Na Tabela 21 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 21: Valores obtidos no ensaio da chapa n°3, na 3ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
369	22	4	4	11	4	0.03	0.28	0.05	2.1941
745	89	15	18	39	14	0.03	0.28	0.05	4.4359
1086	190	30	38	82	27	0.03	0.28	0.05	6.4633
1500	361	57	74	153	45	0.03	0.28	0.05	8.9283
1916	589	94	121	248	72	0.03	0.28	0.05	11.4082
2254	814	132	170	346	95	0.03	0.28	0.05	13.4207

Na Figura 77 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

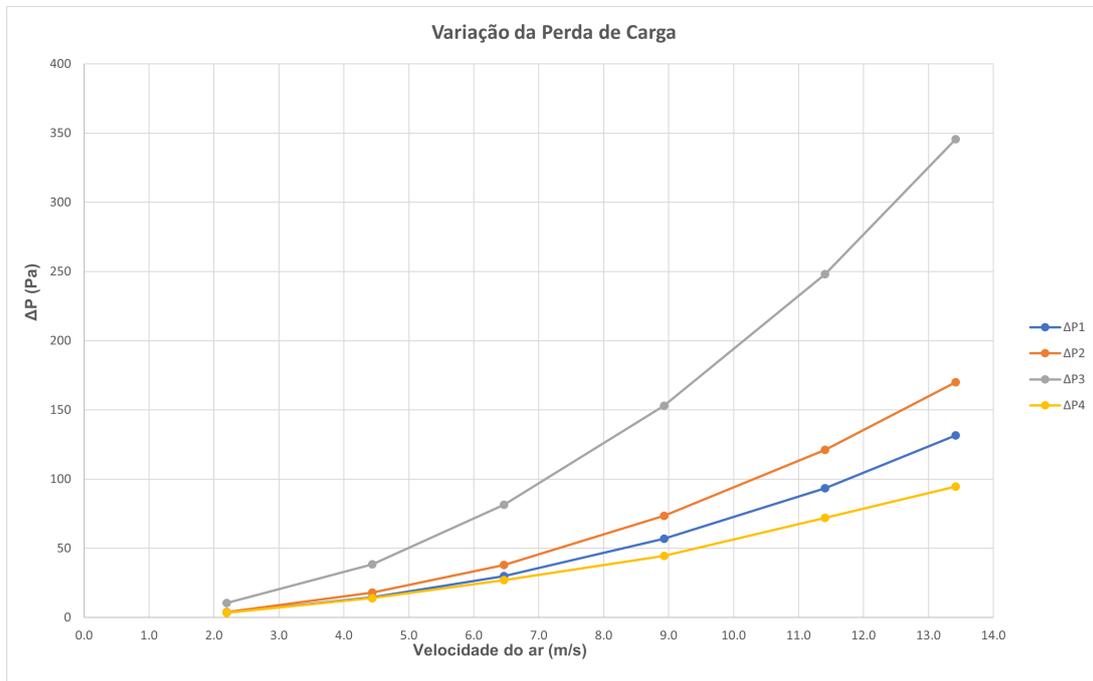


Figura 77: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 78.

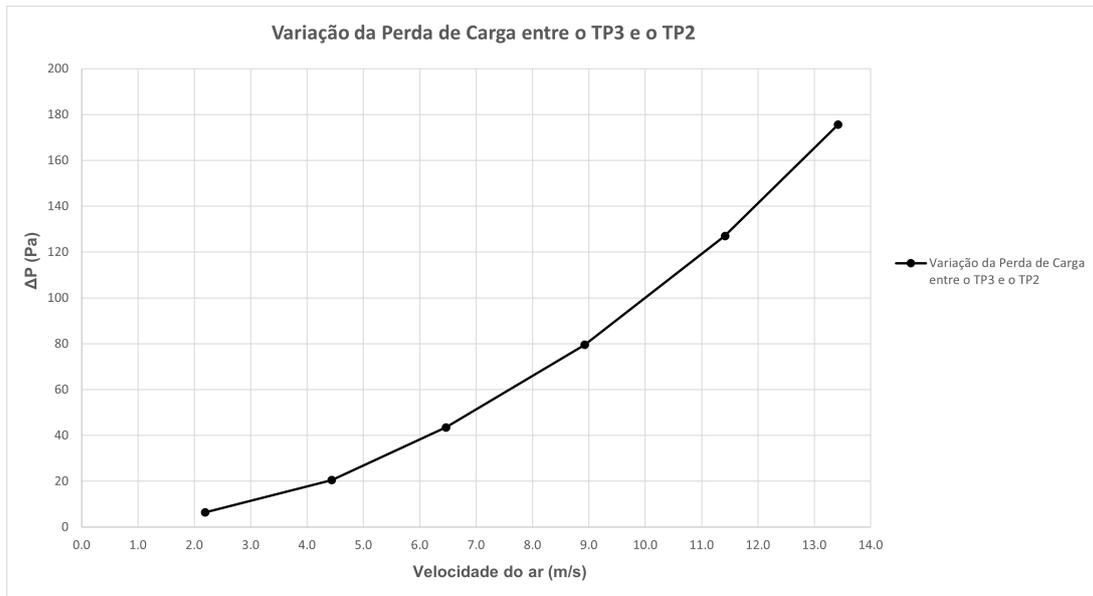


Figura 78: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 3ª Situação.

4.5.4 Chapa N°3 - 4ª Situação

Relativamente à quarta situação de estudo, o registo de caudal também se encontra fechado, no entanto não temos a presença da roda térmica, como é possível observar na Figura 79.

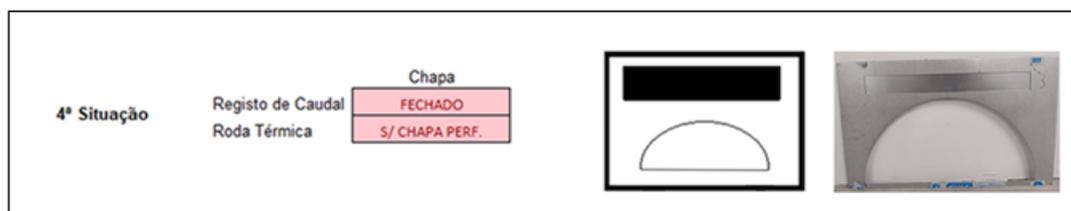


Figura 79: 4ª Situação do ensaio da chapa N°3

Condições iniciais do ensaio:

- Temperatura Ambiente: 21,7°C;
- Humidade Relativa: 69.7%;
- Pressão Atmosférica: 986 mbar.

Nesta situação de ensaio, a área transversal irá ser calculada apenas contabilizando a área da roda térmica, mas neste caso não iremos ter em conta o fator da percentagem de área perfurada, pois a roda térmica não se encontra presente. Este cálculo está representado na equação 8.

Na Tabela 22 podemos observar os resultados obtidos nos diferentes transdutores de pressão.

Tabela 22: Valores obtidos no ensaio da chapa n°3, na 4ª situação.

Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Velocidade (m/s)
379	23	4	6	6	6	0.03	0.28	0.14	0.7437
745	89	14	20	21	15	0.03	0.28	0.14	1.4629
1138	208	33	44	49	27	0.03	0.28	0.14	2.2360
1529	375	60	78	86	47	0.03	0.28	0.14	3.0043
1942	604	99	127	139	69	0.03	0.28	0.14	3.8158
2417	936	153	201	219	101	0.03	0.28	0.14	4.7481

Na Figura 80 está representado o gráfico dos valores apresentados na tabela anterior.

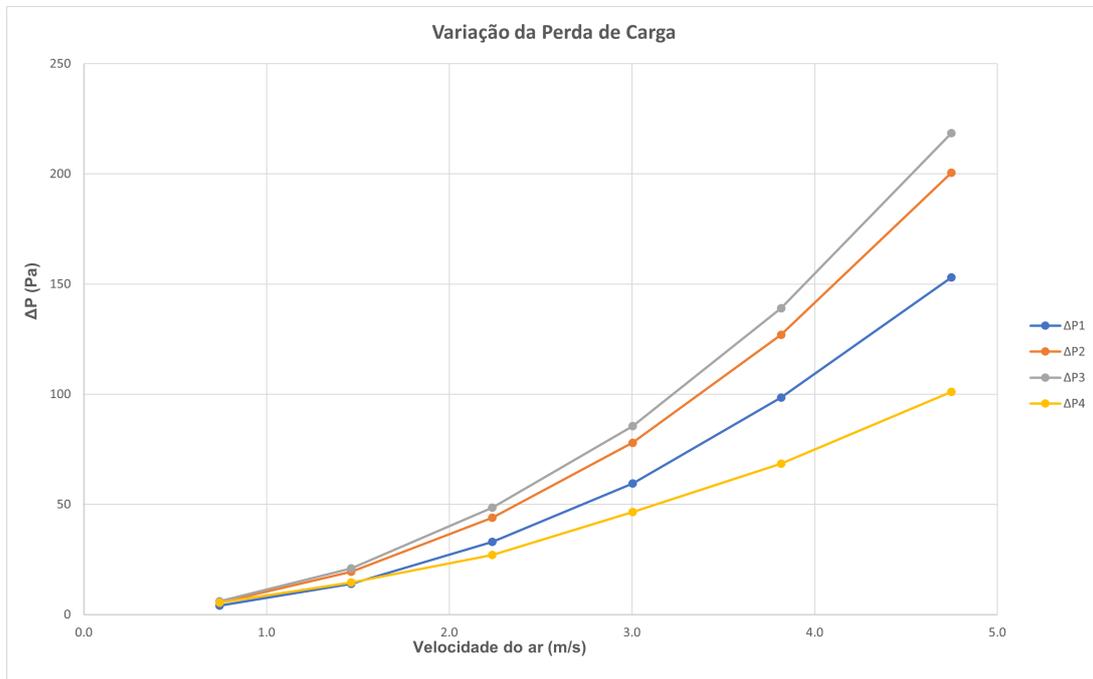


Figura 80: Variação da perda de carga observada em cada transdutor em função da velocidade do ar.

Pode-se visualizar o gráfico que traduz a variação da perda de carga entre os transdutores TP3 e TP2 na Figura 81.

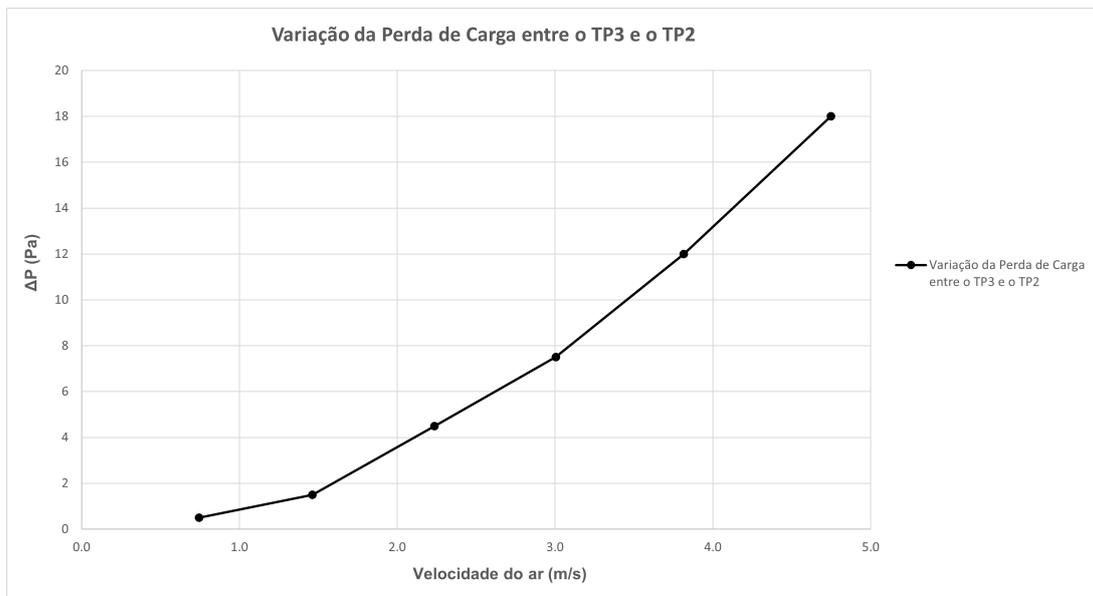


Figura 81: Variação da perda de carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, para o ensaio da Chapa N°3, 4ª Situação.

De seguida, está representado um gráfico onde se pode observar as variações da perda de carga entre o TP3 e o TP2, para as situações de estudo apresentadas anteriormente.

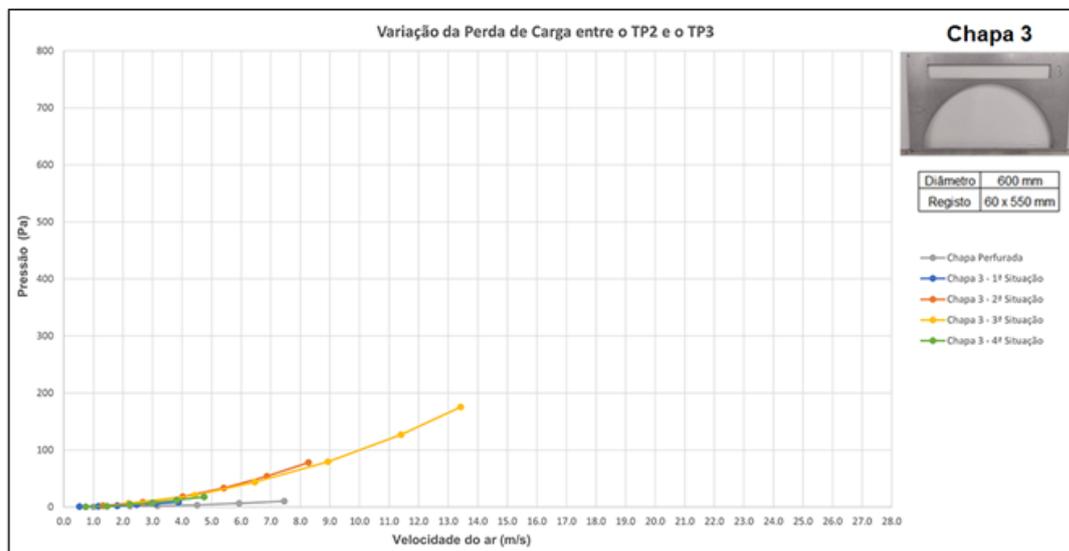


Figura 82: Variação da Perda de Carga entre o TP3 e o TP2 em função da velocidade do ar, nas diferentes situações de estudo.

4.6 Interpretação dos Resultados

Como seria de esperar, quando temos apenas a chapa perfurada no início da instalação, obtemos a menor variação da perda de carga possível. Por outro lado, quando temos ambas as chapas presentes, isto é, a chapa perfurada colocada no início da instalação, com o objetivo de uniformizar o caudal, e a chapa a estudar colocada na zona de medição, começamos a ter valores de perda de carga maiores.

De um modo geral, comparando as três diferentes chapas, observamos que das quatro situações de estudo, a terceira situação, isto é, quando temos a presença da roda térmica e o registo de caudal se encontra fechado, é a situação que apresenta uma maior variação da perda de carga. É nesta situação, que a área transversal atinge os valores mais reduzidos, pelo facto de o registo se encontrar fechado, obrigando o ar a movimentar-se para a roda térmica, e pelo facto de esta roda ser constituída pela chapa perfurada, reduzindo ainda mais a área transversal, como se pode observar através da equação 1.

Relativamente ao diâmetro da roda térmica de cada chapa, conclui-se que este parâmetro tem influência na variação da perda de carga, pois à medida que se vai aumentando o diâmetro, obtêm-se menores valores de pressão, e, por conseguinte, uma menor variação da perda de carga. Para uma melhor compreensão do que foi referido anteriormente, foi elaborado um gráfico onde é possível observar esta relação, estando representado na Figura 83.

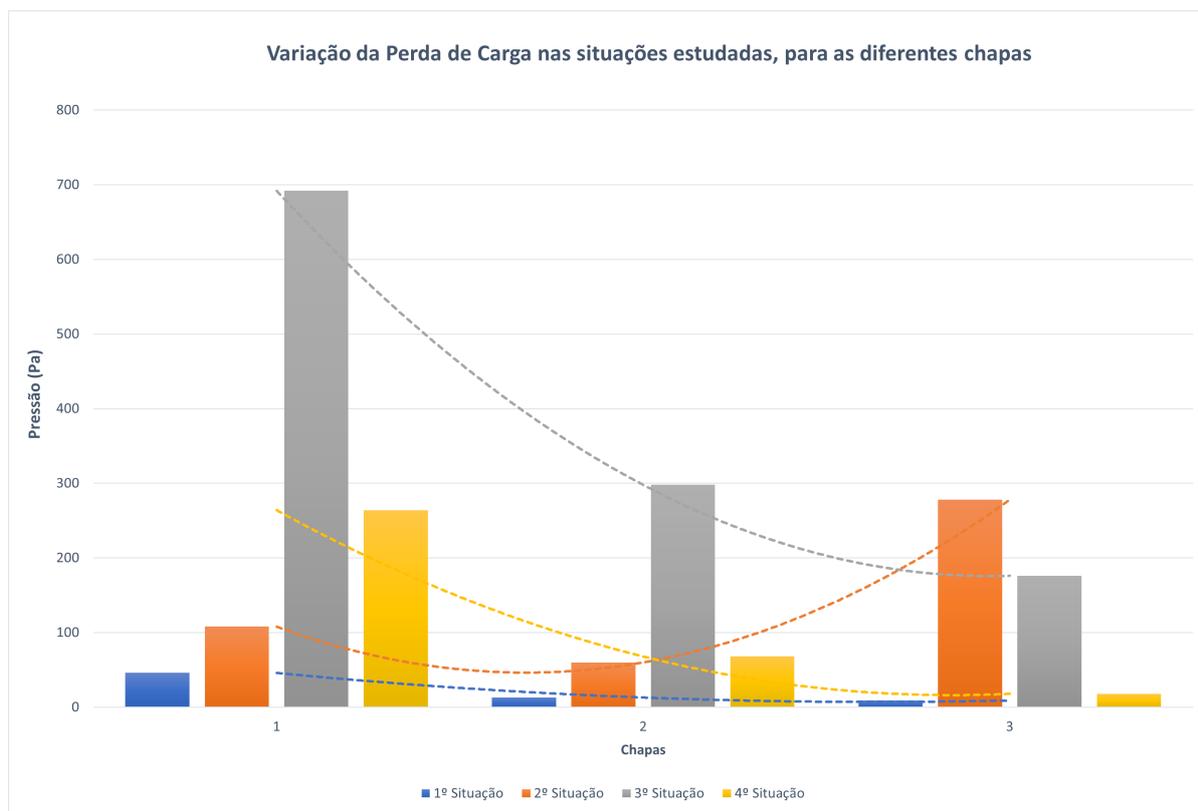


Figura 83: Variação da Perda de Carga nas situações estudadas, para as diferentes chapas.

Através da Figura 83, chega-se à conclusão que de facto existe uma diminuição da variação da perda de carga em todas as situações estudadas (da chapa N°1 para a chapa N°3), exceto na segunda situação da terceira chapa, onde temos um aumento relativamente à chapa N°2. De salientar que, a terceira chapa não só tem um diâmetro maior que as outras chapas, mas também apresenta diferentes dimensões no registo de caudal, precisamente na largura do mesmo, sendo de 60mm e não de 110mm como na primeira e segunda chapa, como foi referido na secção 4.5. Por esta razão (menor área de passagem no registo), a perda de carga nesta situação aumenta.

Recorreu-se à equação que permite efetuar o cálculo da perda de carga localizada, com o objetivo de relacionar as perdas de carga com a área de passagem em cada uma das situações, e também de analisar a variação do coeficiente de perda de carga, estando representada pela equação 9.

$$\Delta h = K \times \frac{U^2}{2g} \quad (m) \quad (9)$$

Onde:

- Δh é a variação da perda de carga (m);
- K é um coeficiente (adimensional) de perda de carga que depende da geometria da conduta e do tipo de obstáculo;
- U é a velocidade média de escoamento (m/s);
- g é a aceleração gravítica (m/s^2).

Sabendo que:

$$U = \frac{Q}{A} \quad (m/s) \quad (10)$$

Onde:

- Q é o caudal de ar (m^3/s);
- A é a área de passagem (m^2).

Substituindo na equação 9, obtemos a seguinte equação:

$$\Delta h = K \times \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g} \quad (m) \quad (11)$$

Sabendo que:

$$\Delta P = \Delta h \times \rho \times g \quad (Pa) \quad (12)$$

Onde:

- ΔP é a perda de pressão (Pa);
- Δh é a perda de carga (m);
- ρ é a massa volumétrica do fluido (kg/m^3);
- g é a aceleração gravítica (m/s^2).

Relacionando as equações 11 e 12, obtém-se a seguinte equação:

$$\Delta P = K \times \rho \times \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2} \quad (Pa) \quad (13)$$

Através da equação 13, conclui-se que a variação da perda de carga é inversamente proporcional ao quadrado da área de passagem, e deste modo, à medida que aumentamos esta área, a variação da perda de carga tende a diminuir. Podemos comprovar esta relação referida anteriormente, através da leitura do gráfico representado pela Figura 83, onde claramente existe uma diminuição da variação da perda de carga, à medida que se aumenta a área de passagem de cada chapa (da chapa N°1 para a chapa N°3).

Relativamente ao comportamento do coeficiente de perda de carga nas situações estudadas, para as diferentes chapas, resolveu-se a equação 13 em ordem a K, obtendo-se a equação 14.

$$K = \frac{\Delta P}{\frac{\rho \times \left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2}} \quad (14)$$

Deste modo, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de perda de carga nas quatro situações de estudo, para as três chapas e para uma melhor compreensão, foi elaborado um gráfico onde é possível observar a variação deste coeficiente, estando representado na Figura 84.

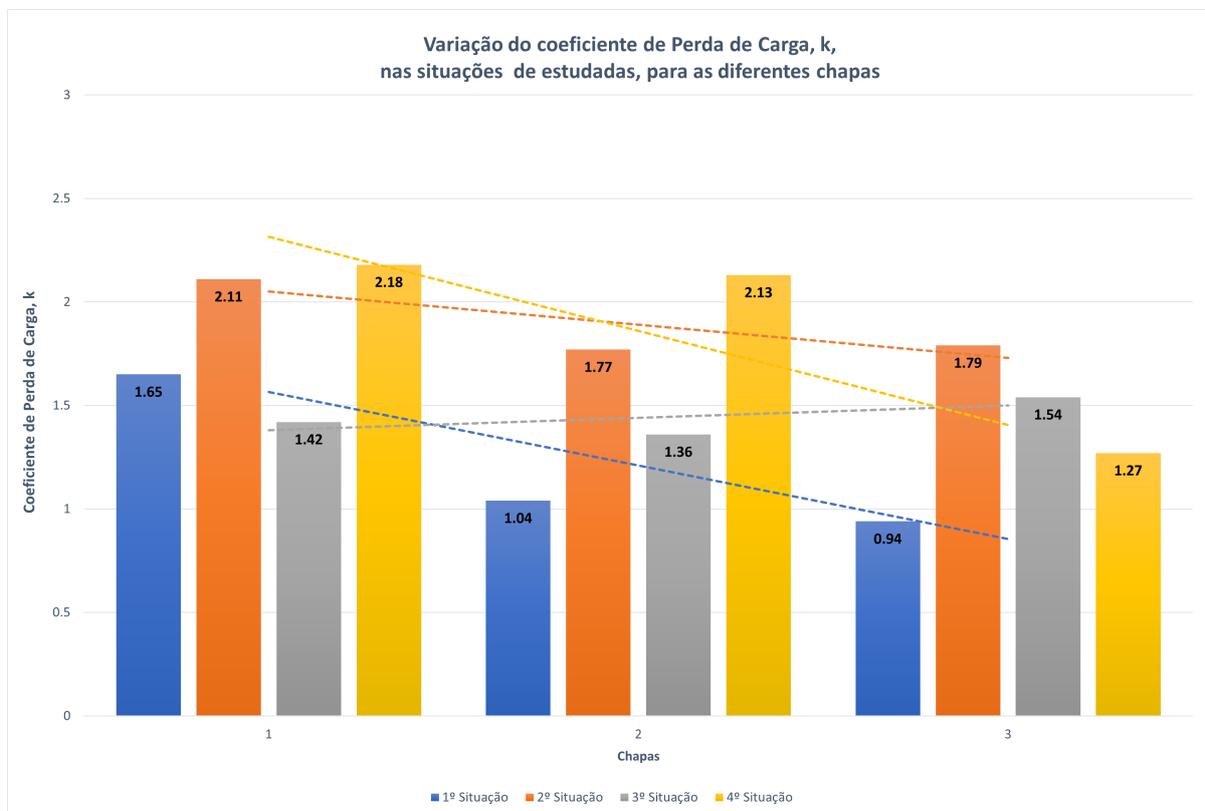


Figura 84: Variação do coeficiente de Perda de Carga, K, nas situações estudadas, para as diferentes chapas.

Através da Figura 84, conseguimos observar a variação do coeficiente de Perda de Carga, K , nas quatro situações de estudo, para as diferentes chapas, e concluímos que existe uma diminuição do mesmo (da chapa N°1 para a chapa N°3). Como mencionado anteriormente, o diâmetro da roda térmica vai aumentando da chapa N°1 para a chapa N°3, ou seja, a área de passagem é cada vez maior. Relativamente ao registo de caudal, este apresenta as mesmas dimensões na chapa N°1 e N°2, apresentando uma largura menor (60mm) na chapa N°3 comparativamente às duas primeiras chapas (110mm).

Este coeficiente depende da geometria da conduta, bem como do tipo de obstáculo em questão, e é utilizado com o objetivo de ter em conta a resistência adicional ao escoamento que estes obstáculos/-geometrias podem induzir. Deste modo, quanto maior for a área de passagem, menor será o coeficiente de perda de carga, porque a área de passagem influencia a velocidade do escoamento, e consequentemente, a resistência ao escoamento. No geral, os valores típicos deste coeficiente K em escoamentos de fluidos são tabelados e estão inseridos na faixa de 0.02 a 0.9, dependendo do tipo de obstáculo. Neste ensaio experimental, achou-se pertinente calcular os valores deste coeficiente (apesar de normalmente serem tabelados), e observamos que os valores obtidos inserem-se num intervalo de 0.94 - 2.18.

Conclusões e Trabalhos Futuros

O facto de ter escolhido a opção de estágio curricular para finalizar o Mestrado em Engenharia Mecânica, na área de Tecnologias Energéticas e Ambientais, permitiu-me colocar em prática os conhecimentos adquiridos ao longo destes cinco anos. Foi bastante enriquecedor na medida em que atingi objetivos pessoais, e pela possibilidade de adquirir conhecimento extra e partilhar experiência, quer dos colaboradores da EVAC, quer do Eng. Pedro Lapa e do Eng. Miguel Jesus, tendo o primeiro contacto direto com o mundo empresarial, conseguindo crescer como profissional da engenharia.

5.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido permitiu responder às seguintes PIs:

- **PI1:** *Quais os principais aspetos que influenciam a perda de carga no escoamento do ar na secção da UTA (conjunto recuperador + bypass), quer no circuito de insuflação, quer no circuito de extração?*

A secção 4.6 responde a esta pergunta. Conforme esperado, demonstrou-se, experimentalmente, que o diâmetro da roda térmica e as dimensões do registo de caudal, são dois parâmetros que têm influência na variação da perda de carga. Por fim, observa-se uma diminuição da variação da perda de carga em todas as situações estudadas, à medida que o diâmetro da roda térmica é maior.

- **PI2:** *Quais as melhores soluções a implementar, de modo a otimizar o componente (registo + roda térmica)?*

Inicialmente, complementar o trabalho experimental das medições e o tratamento de dados com uma fundamentação mais teórica, nomeadamente envolver conceitos da mecânica de fluidos, sendo possível inferir como otimizar este componente. Por fim, ainda deveria ser realizada uma simulação *Computacional Fluid Dynamics (CFDs)*, onde se utiliza um programa para resolver numericamente as leis vigentes na mecânica dos fluidos, tendo também a opção de modelar a geometria pretendida. Deste modo, constrói-se um ambiente virtual, onde se pode visualizar com elevados níveis de realismo todo o sistema a estudar, e o seu comportamento, antes de proceder à construção do equipamento. Relativamente a este ensaio experimental, seria possível visualizar o perfil de velocidades ao longo da instalação, e também o perfil de pressões.

Em suma, os objetivos traçados no início deste projeto, que estão descritos no início deste documento na secção 1.4, foram alcançados com sucesso dentro do prazo estipulado, exceto o último objetivo, que seria desenvolver um modelo que representasse o comportamento obtido ao longo das medições.

5.2 Desafios Futuros

Atualmente, dada a crescente permanência da população em espaços confinados, é fundamental estabelecer um equilíbrio entre o conforto e a eficiência energética, sendo por isso, um dos temas em constante investigação. Este estágio curricular permitiu criar uma ligação entre a [EVAC](#) e a Universidade do Minho, existindo a possibilidade de mais estágios curriculares com os alunos. Deste modo, o presente trabalho deverá ser complementado no futuro, com o objetivo de alcançar mais soluções, contribuindo para uma constante otimização da eficiência energética destes equipamentos.

Bibliografia

- [1] *European Collaborative Action (ECA). "Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure – Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy, Report No 23"*. 2003, p. 3. url: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/ECA/ECA_Report23.pdf.
- [2] *World Health Organization. "Who guidelines for indoor air quality: selected pollutants"*. 2010, p. 15. url: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>.
- [3] *Blondeau, P., Iordache, V., Poupard, O., Genin, D., & Allard, F. (2005). "Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. Indoor Air"*. 2005, pp. 2–12. doi: [10.1111/j.1600-0668.2004.00263.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00263.x). url: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15660564/>.
- [4] *Poupard, O., Blondeau, P., Iordache, V., & Allard, F. (2005). "Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools"*. 2005, pp. 2071–2080. doi: [10.1016/j.atmosenv.2004.12.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.12.016). url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231005000166>.
- [5] *DIN 1946-4. "Ventilation and Air Conditioning – Part 4: VAC systems in buildings and rooms used in the health care sector"*.
- [6] *VDI 6022-Part 1. "Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems"*.
- [7] *EVAC - Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A.* url: <https://www.evac.pt/empresa>.
- [8] *EVAC. "A ENGENHARIA DO AR"*.
- [9] *G. Giacomini. "A História do Ar-Condicionado: Linha do Tempo Completa"*. url: <https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>.
- [10] *L. F. Industriais. "Unidade de Tratamento de Ar, entenda o que é..."* url: <https://linterfiltros.com.br/unidade-de-tratamento-de-ar/>.
- [11] *EN 13053. "Ventilation for Buildings- Air handling units - Rating and performance for units, components and sections"*.
- [12] *M. Jesus e P. Lapa. "Unidades de Tratamento de Ar: Um fato à medida"*.

-
- [13] P. Lobarinhas. "Caudais de Ar Novo - Sistemas AVAC".
- [14] ISO 16980:2016. "Air filters for general ventilation - Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM)".
- [15] EN 779. "Particulate air filters for general ventilation - Determination of the Filtration Performance".
- [16] EN 1822. "High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA)."
- [17] EN 13779. "Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems".
- [18] Portaria 138-I/2021.
- [19] Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro. *Diário da República*, 1.ª série – N.º 235.
- [20] EUROVENT CERTIFIED PERFORMANCE. url: <https://www.eurovent-certification.com/en/third-party-certification/certification-programmes/ahu>.
- [21] EN 1751. "Ventilation for buildings - Air terminal devices - Aerodynamic testing of damper and valves".
- [22] EN 1886. "Ventilation for buildings - Air handling units – Mechanical performance".
- [23] Diretiva (UE) 2018/2001. "Promoção da utilização de energias renováveis".
- [24] Diretiva 2009/125/CE. "Requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com consumo de energia".
- [25] Regulamento (EU) N° 327/2011.
- [26] Regulamento (EU) N° 1253/2014.

Apêndice



Folhas de Cálculo do Excel

A.1 Ensaio da Chapa Perfurada

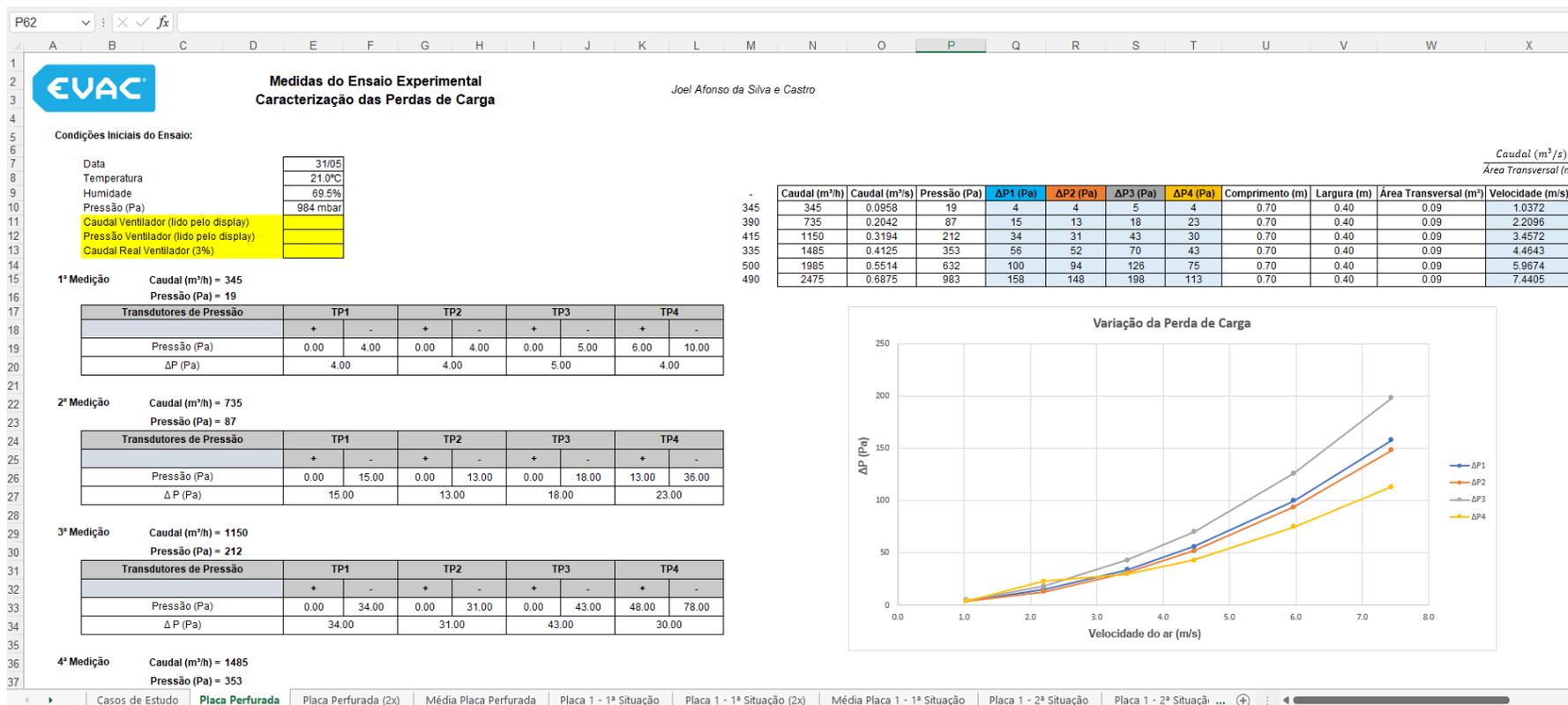


Figura 85: 1º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.1.

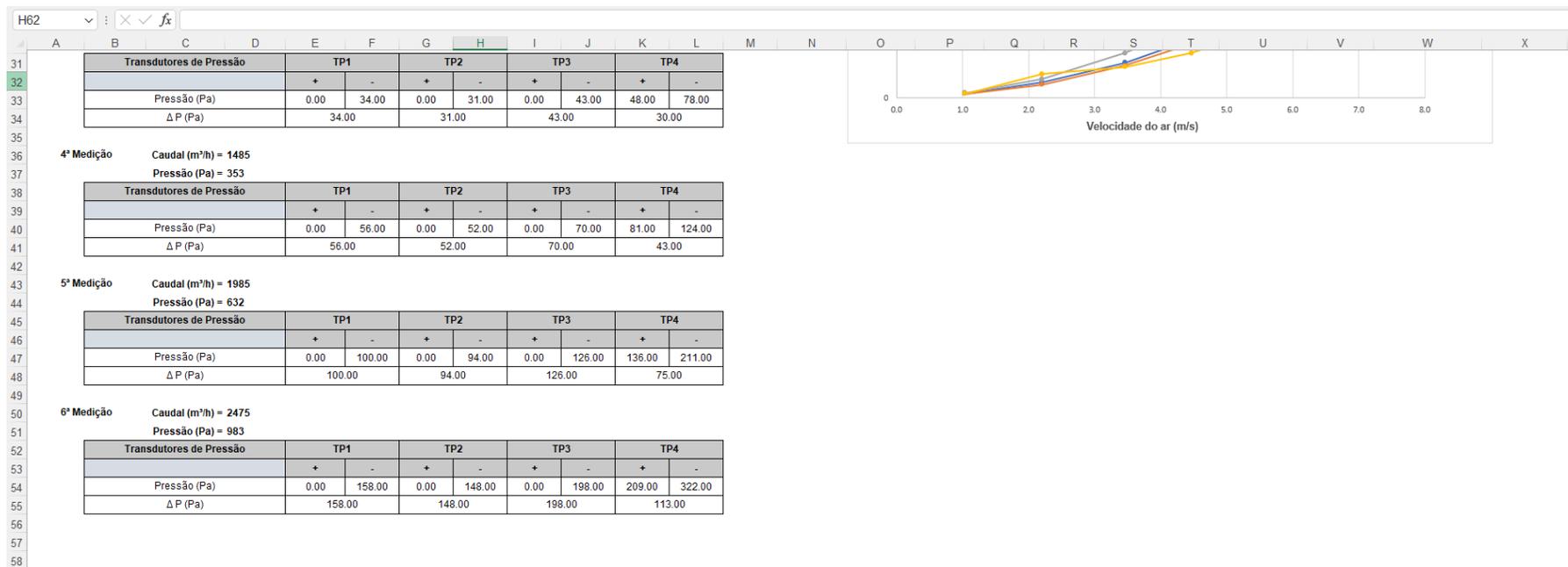


Figura 86: 1º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.2.

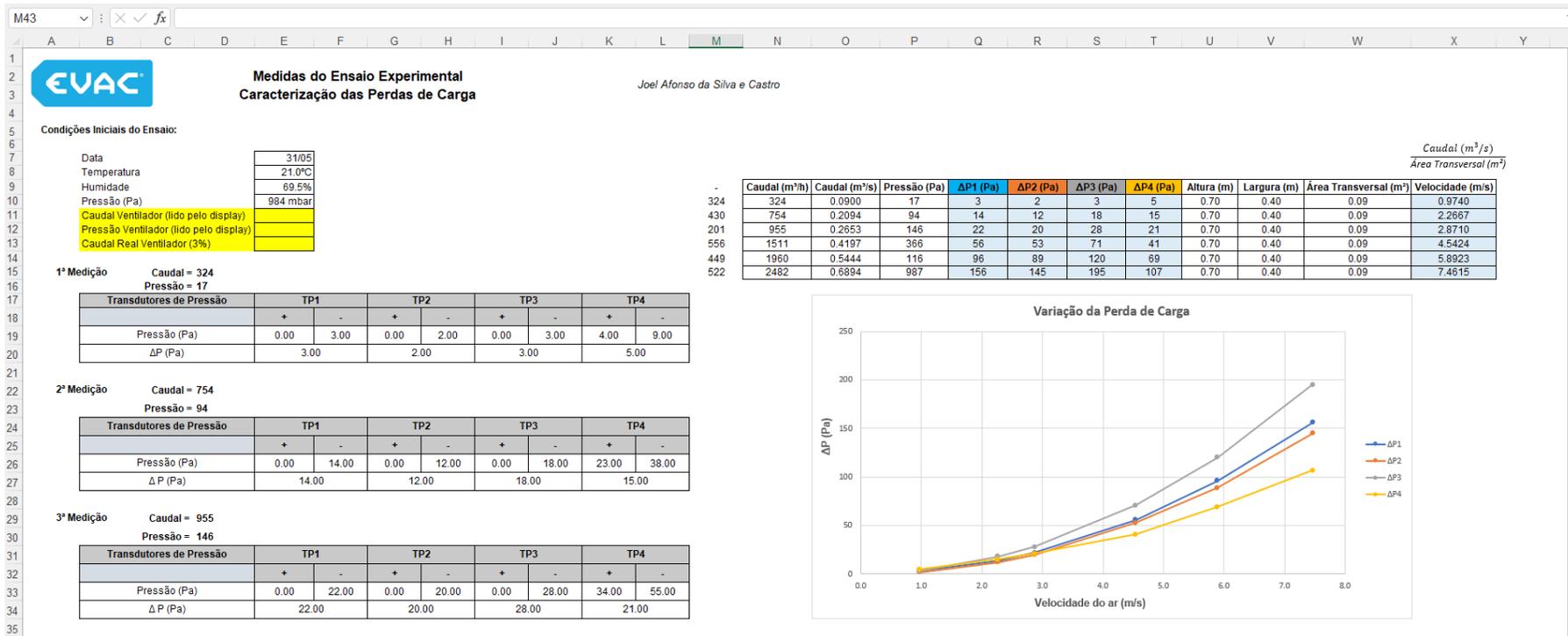


Figura 87: 2º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.1.

ΔP (Pa)	22.00	20.00	28.00	21.00
-----------------	-------	-------	-------	-------

Velocidade do ar (m/s)

4ª Medição Caudal = 1511
Pressão = 366

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	56.00	0.00	53.00	0.00	71.00	86.00	127.00
ΔP (Pa)	56.00		53.00		71.00		41.00	

5ª Medição Caudal = 1960
Pressão = 116

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	96.00	0.00	89.00	0.00	120.00	136.00	205.00
ΔP (Pa)	96.00		89.00		120.00		69.00	

6ª Medição Caudal = 2482
Pressão = 987

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	156.00	0.00	145.00	0.00	195.00	215.00	322.00
ΔP (Pa)	156.00		145.00		195.00		107.00	

Figura 88: 2º Ensaio da Chapa Perfurada - Pág.2.

A.2 Ensaio da Chapa N^o1

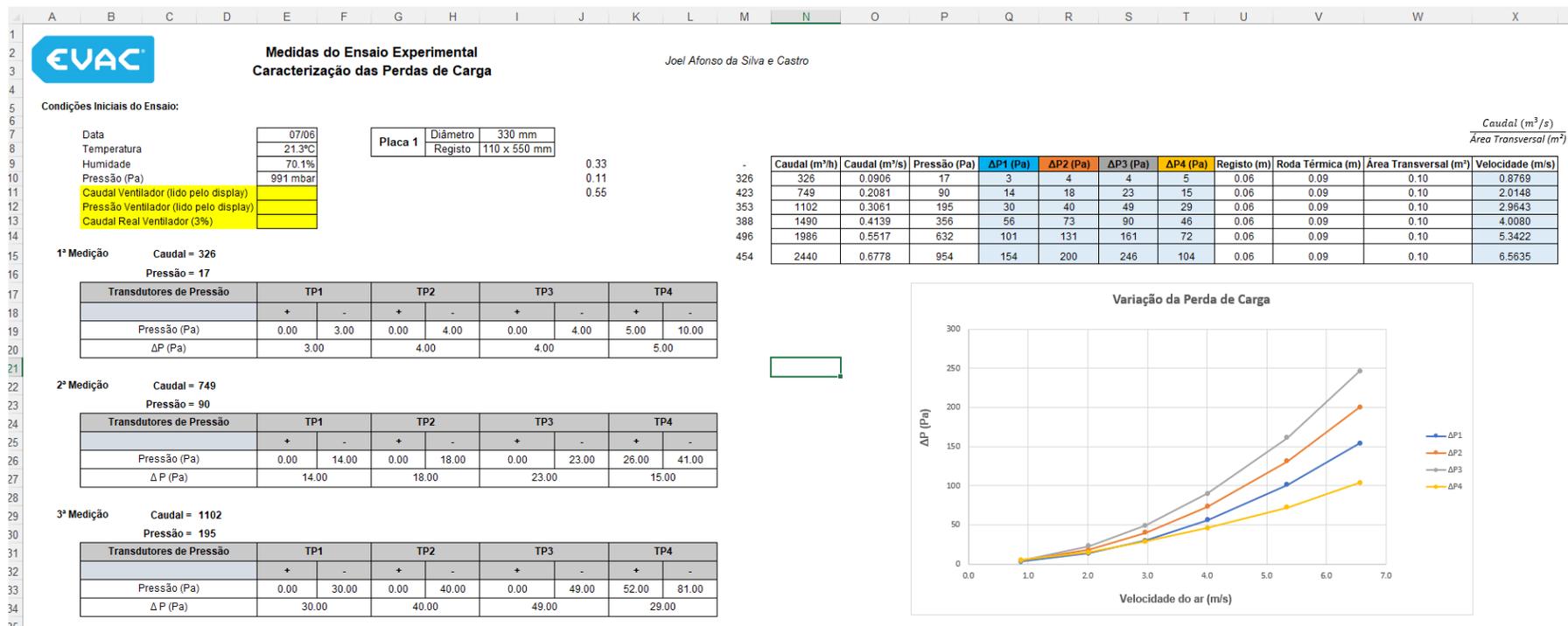


Figura 89: 1^o Ensaio da Chapa N^o1, Situação 1 - Pág.1.

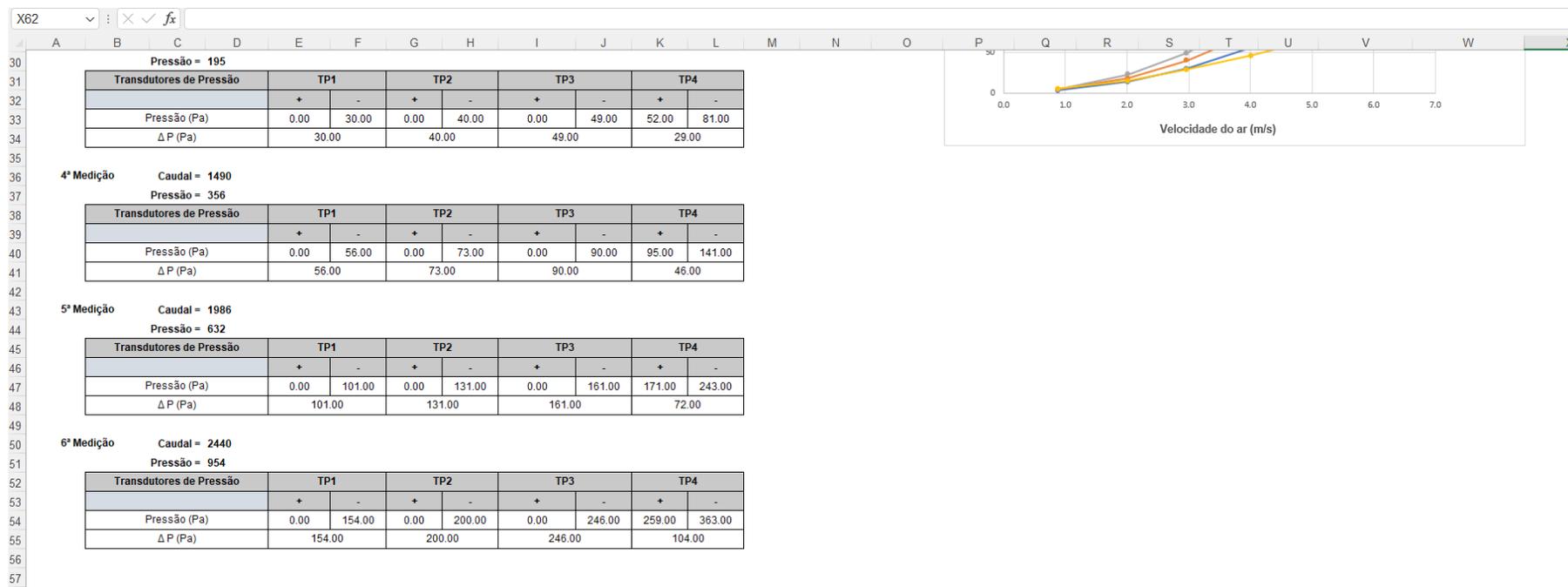


Figura 90: 1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.2.



Medidas do Ensaio Experimental
Caracterização das Perdas de Carga

Joel Afonso da Silva e Castro

Condições Iniciais do Ensaio:

Data	09/06
Temperatura	20,7°C
Humidade	73.6%
Pressão (Pa)	993 mbar
Caudal Ventilador (lido pelo display)	
Pressão Ventilador (lido pelo display)	
Caudal Real Ventilador (3%)	

Placa 1	Diâmetro	330 mm
	Registro	110 x 550 mm

0.33
0.11
0.55

Caudal (m³/s)
Área Transversal (m²)

	Caudal (m ³ /h)	Caudal (m ³ /s)	Pressão (Pa)	ΔP1 (Pa)	ΔP2 (Pa)	ΔP3 (Pa)	ΔP4 (Pa)	Registro (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m ²)	Velocidade (m/s)
351	351	0.0975	20	6	6	6	5	0.06	0.09	0.10	0.9442
398	749	0.2081	90	17	20	23	17	0.06	0.09	0.10	2.0148
376	1125	0.3125	203	35	44	51	30	0.06	0.09	0.10	3.0262
398	1523	0.4231	372	61	78	95	45	0.06	0.09	0.10	4.0968
433	1956	0.5433	613	101	129	158	74	0.06	0.09	0.10	5.2615
488	2444	0.6789	957	157	204	250	111	0.06	0.09	0.10	6.5742

1ª Medição Caudal = 351
Pressão = 20

Transdutores de Pressão		TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-	
Pressão (Pa)	0.00	6.00	0.00	6.00	0.00	6.00	8.00	13.00	
ΔP (Pa)		6.00		6.00		6.00		5.00	

2ª Medição Caudal = 749
Pressão = 90

Transdutores de Pressão		TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-	
Pressão (Pa)	0.00	17.00	0.00	20.00	0.00	23.00	21.00	38.00	
ΔP (Pa)		17.00		20.00		23.00		17.00	

3ª Medição Caudal = 1125
Pressão = 203

Transdutores de Pressão		TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-	
Pressão (Pa)	0.00	35.00	0.00	44.00	0.00	51.00	54.00	84.00	
ΔP (Pa)		35.00		44.00		51.00		30.00	

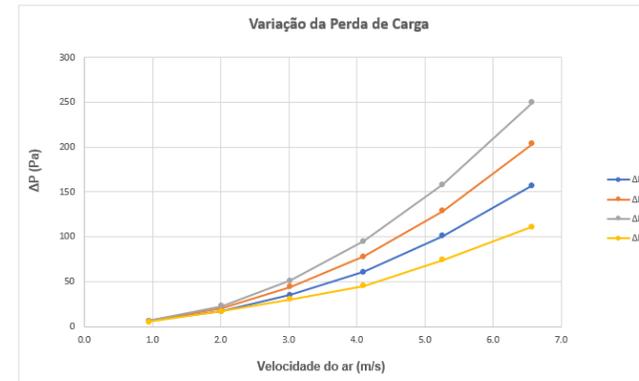


Figura 91: 2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.1.

3ª Medição Caudal = 1125
Pressão = 203

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	35.00	0.00	44.00	0.00	51.00	54.00	84.00
ΔP (Pa)	35.00		44.00		51.00		30.00	

4ª Medição Caudal = 1523
Pressão = 372

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	61.00	0.00	78.00	0.00	95.00	102.00	147.00
ΔP (Pa)	61.00		78.00		95.00		45.00	

5ª Medição Caudal = 1956
Pressão = 613

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	101.00	0.00	129.00	0.00	158.00	164.00	238.00
ΔP (Pa)	101.00		129.00		158.00		74.00	

6ª Medição Caudal = 2444
Pressão = 957

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	157.00	0.00	204.00	0.00	250.00	252.00	363.00
ΔP (Pa)	157.00		204.00		250.00		111.00	

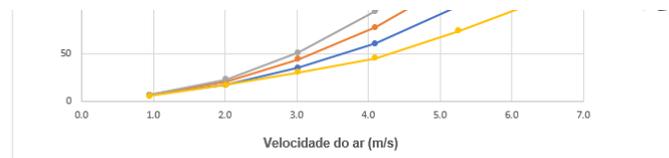


Figura 92: 2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 1 - Pág.2.

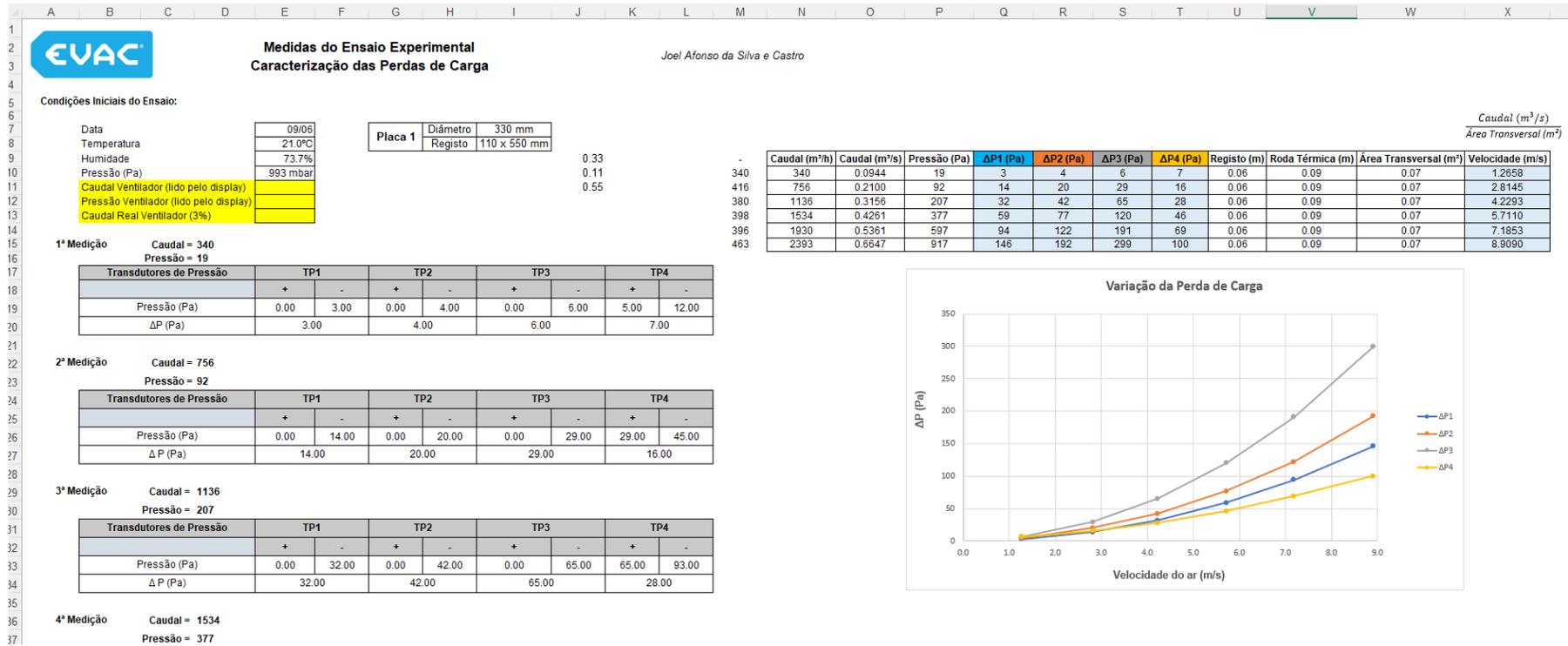


Figura 93: 1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.1.

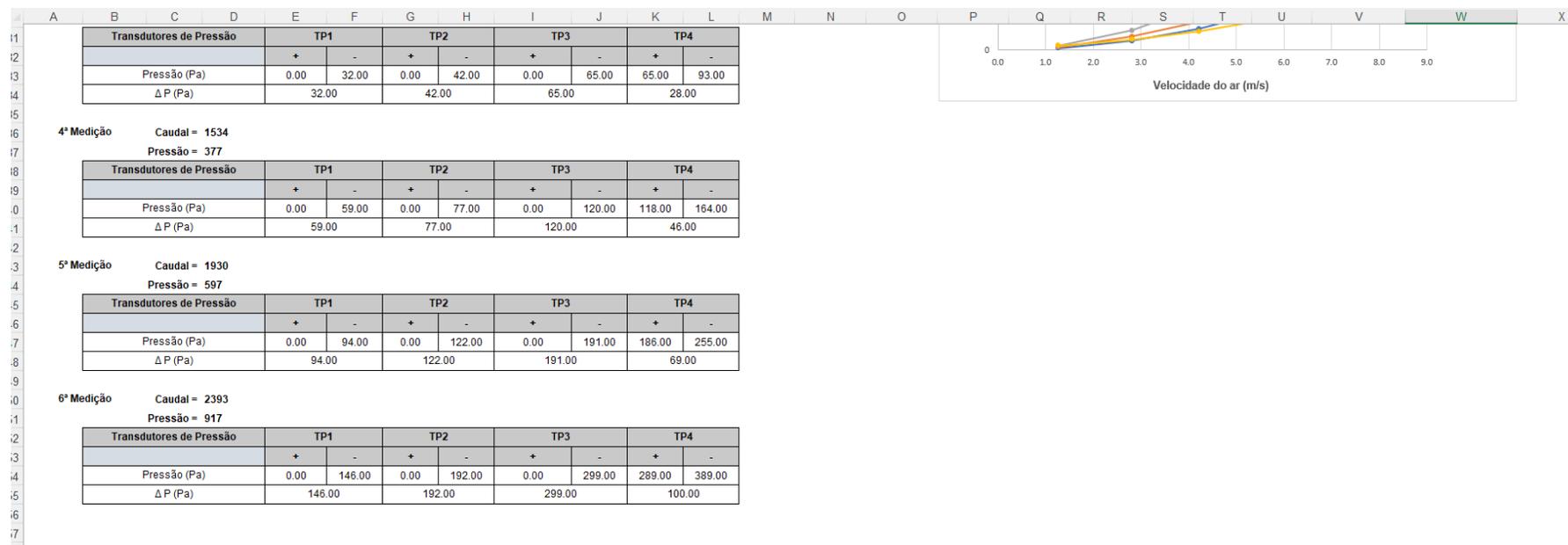


Figura 94: 1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.2.



Medidas do Ensaio Experimental
Caracterização das Perdas de Carga

Joel Afonso da Silva e Castro

Condições Iniciais do Ensaio:

Data	09/06
Temperatura	21.0°C
Humidade	73.7%
Pressão (Pa)	993 mbar
Caudal Ventilador (lido pelo display)	
Pressão Ventilador (lido pelo display)	
Caudal Real Ventilador (3%)	

Placa 1	Diâmetro	330 mm
	Registo	110 x 550 mm

0.33
0.11
0.55

Caudal (m³/h)	Caudal (m³/s)	Pressão (Pa)	ΔP1 (Pa)	ΔP2 (Pa)	ΔP3 (Pa)	ΔP4 (Pa)	Registo (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Caudal (m³/s)
										Área Transversal (m²)
396	0.1100	25	4	6	8	7	0.06	0.09	0.07	1.4743
729	0.2025	85	13	18	28	16	0.06	0.09	0.07	2.7140
1156	0.3211	214	33	44	69	30	0.06	0.09	0.07	4.3037
1563	0.4342	392	61	80	124	49	0.06	0.09	0.07	5.8190
1937	0.5381	601	95	124	194	69	0.06	0.09	0.07	7.2113
2392	0.6644	917	145	192	300	101	0.06	0.09	0.07	8.9053

1ª Medição Caudal = 396
Pressão = 25

Transdutores de Pressão								
	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	4.00	0.00	6.00	0.00	8.00	8.00	15.00
ΔP (Pa)		4.00		6.00		8.00		7.00

2ª Medição Caudal = 729
Pressão = 85

Transdutores de Pressão								
	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	13.00	0.00	18.00	0.00	28.00	27.00	43.00
ΔP (Pa)		13.00		18.00		28.00		16.00

3ª Medição Caudal = 1156
Pressão = 214

Transdutores de Pressão								
	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	33.00	0.00	44.00	0.00	69.00	67.00	97.00
ΔP (Pa)		33.00		44.00		69.00		30.00

4ª Medição Caudal = 1563

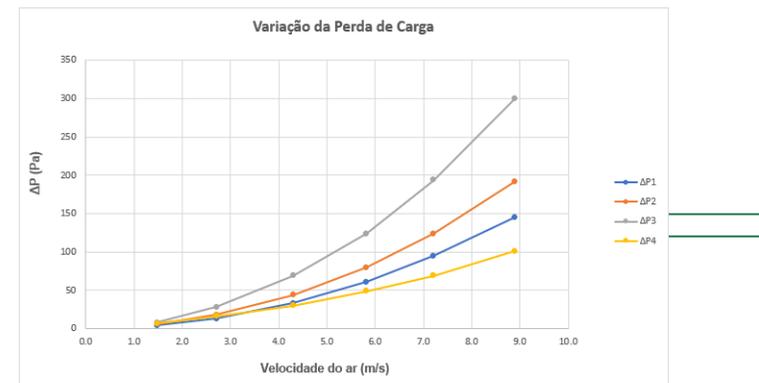


Figura 95: 2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
4		Δ P (Pa)				33.00	44.00	69.00	30.00	Velocidade do ar (m/s)															
6		4ª Medição Caudal = 1563																							
7		Pressão = 392																							
8		Transdutores de Pressão		TP1		TP2		TP3		TP4															
9			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-													
10		Pressão (Pa)	0.00	61.00	0.00	80.00	0.00	124.00	121.00	170.00															
11		Δ P (Pa)	61.00		80.00		124.00		49.00																
3		5ª Medição Caudal = 1937																							
4		Pressão = 601																							
5		Transdutores de Pressão		TP1		TP2		TP3		TP4															
6			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-													
7		Pressão (Pa)	0.00	95.00	0.00	124.00	0.00	194.00	188.00	257.00															
8		Δ P (Pa)	95.00		124.00		194.00		69.00																
0		6ª Medição Caudal = 2392																							
1		Pressão = 917																							
2		Transdutores de Pressão		TP1		TP2		TP3		TP4															
3			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-													
4		Pressão (Pa)	0.00	145.00	0.00	192.00	0.00	300.00	288.00	389.00															
5		Δ P (Pa)	145.00		192.00		300.00		101.00																

Figura 96: 2º Ensaio da Chapa N°1, Situação 2 - Pág.2.



Medidas do Ensaio Experimental
Caracterização das Perdas de Carga

Joel Afonso da Silva e Castro

Condições Iniciais do Ensaio:

Data	14/06	Placa 1	Diâmetro	330 mm	
Temperatura	22.9°C		Registro	110 x 550 mm	
Humidade	74.5%				0.33
Pressão (Pa)	985 mbar				0.11
Caudal Ventilador (lido pelo display)					0.55
Pressão Ventilador (lido pelo display)					
Caudal Real Ventilador (3%)					

1ª Medição

Caudal = 342
Pressão = 19

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	4.00	0.00	4.00	0.00	36.00	34.00	41.00
ΔP (Pa)	4.00		4.00		36.00		7.00	

2ª Medição

Caudal = 714
Pressão = 82

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	12.00	0.00	13.00	0.00	171.00	166.00	181.00
ΔP (Pa)	12.00		13.00		171.00		15.00	

3ª Medição

Caudal = 973
Pressão = 152

Transdutores de Pressão	TP1		TP2		TP3		TP4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Pressão (Pa)	0.00	20.00	0.00	27.00	0.00	351.00	335.00	366.00
ΔP (Pa)	20.00		27.00		351.00		31.00	

4ª Medição

Caudal = 1146
Pressão = 210

Caudal (m³/h)	Caudal (m³/s)	Pressão (Pa)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	$\Delta P3$ (Pa)	$\Delta P4$ (Pa)	Registro (m)	Roda Térmica (m)	Área Transversal (m²)	Caudal (m³/s)
										Velocidade (m/s)
342	0.0950	19	4	4	36	7	0.06	0.09	0.01	6.7317
714	0.1983	82	12	13	171	15	0.06	0.09	0.01	14.0538
973	0.2703	152	20	27	351	31	0.06	0.09	0.01	19.1518
1146	0.3183	210	29	37	483	37	0.06	0.09	0.01	22.5570
1270	0.3528	259	35	46	619	43	0.06	0.09	0.01	24.9977
1383	0.3842	307	42	56	748	49	0.06	0.09	0.01	27.2219

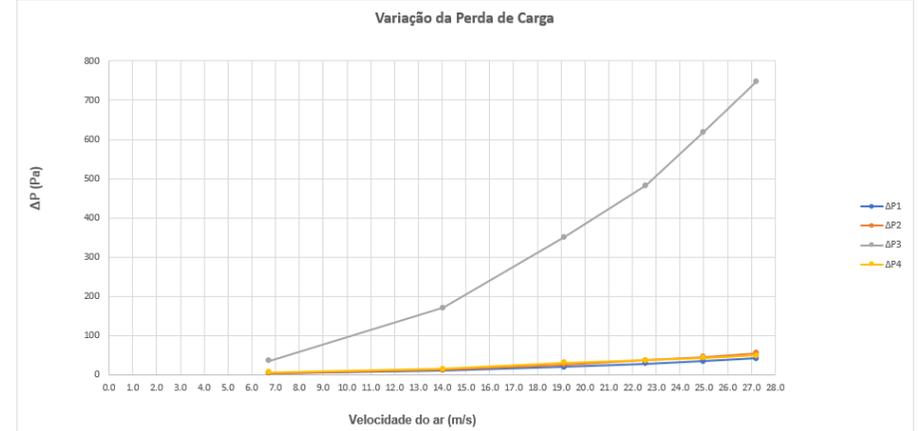


Figura 97: 1º Ensaio da Chapa Nº1, Situação 3 - Pág.1.

93

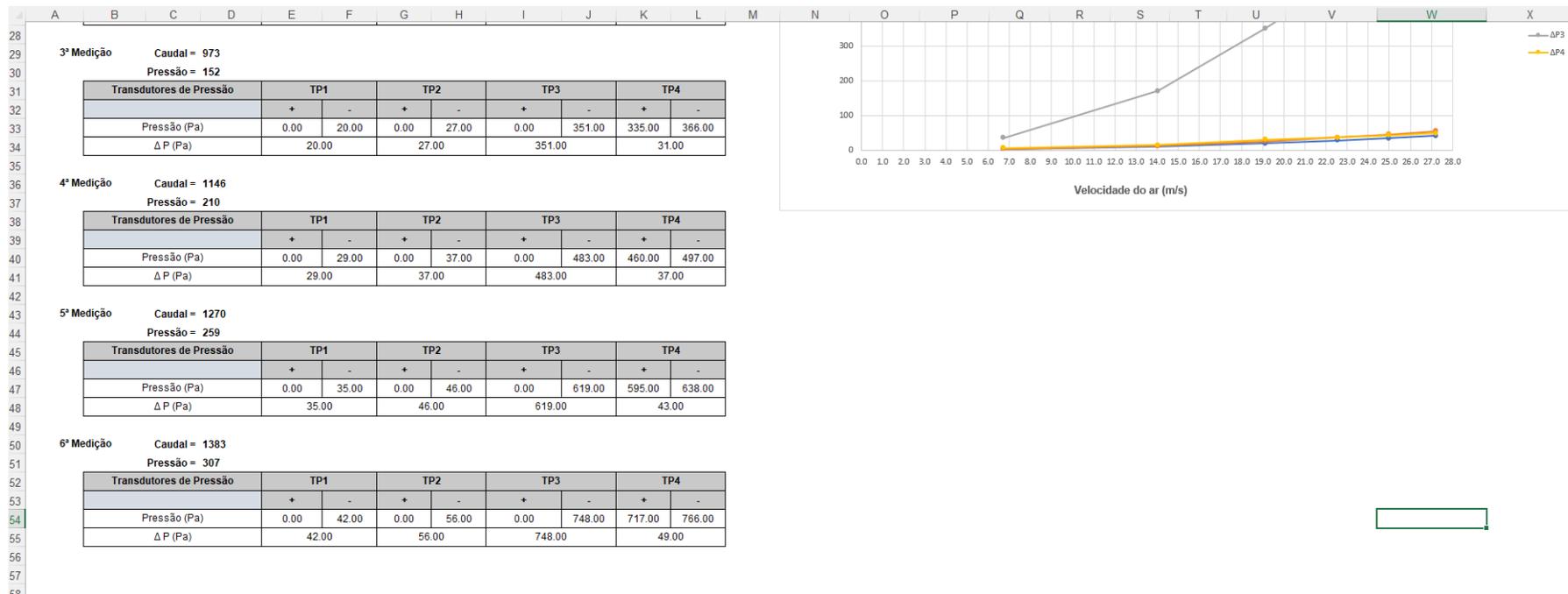


Figura 98: 1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 3 - Pág.2.

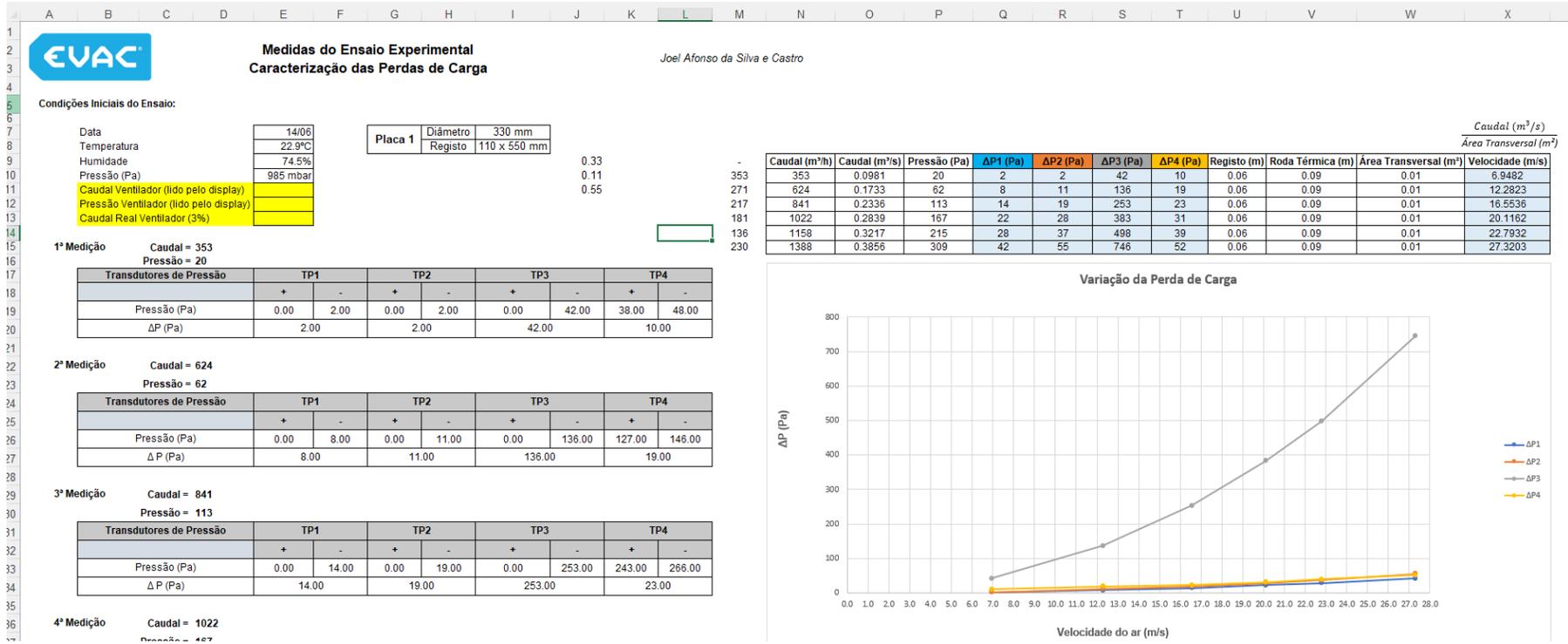


Figura 99: 2º Ensaio da Chapa Nº1, Situação 3 - Pág.1.

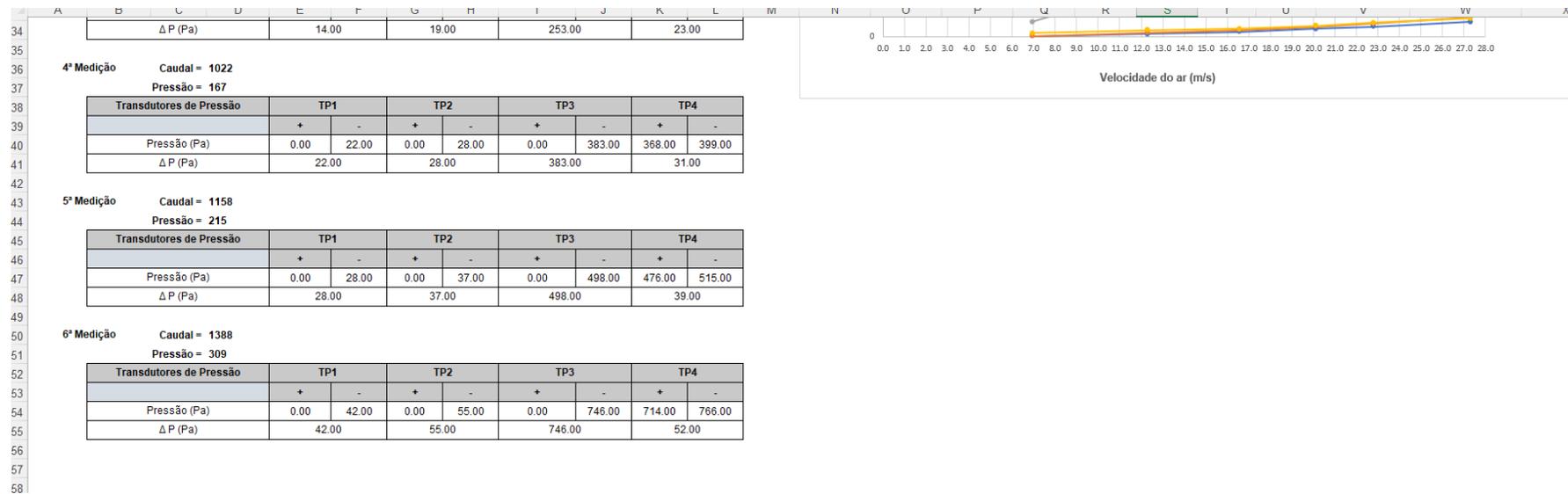


Figura 100: 2º Ensaio da Chapa Nº1, Situação 3 - Pág.2.

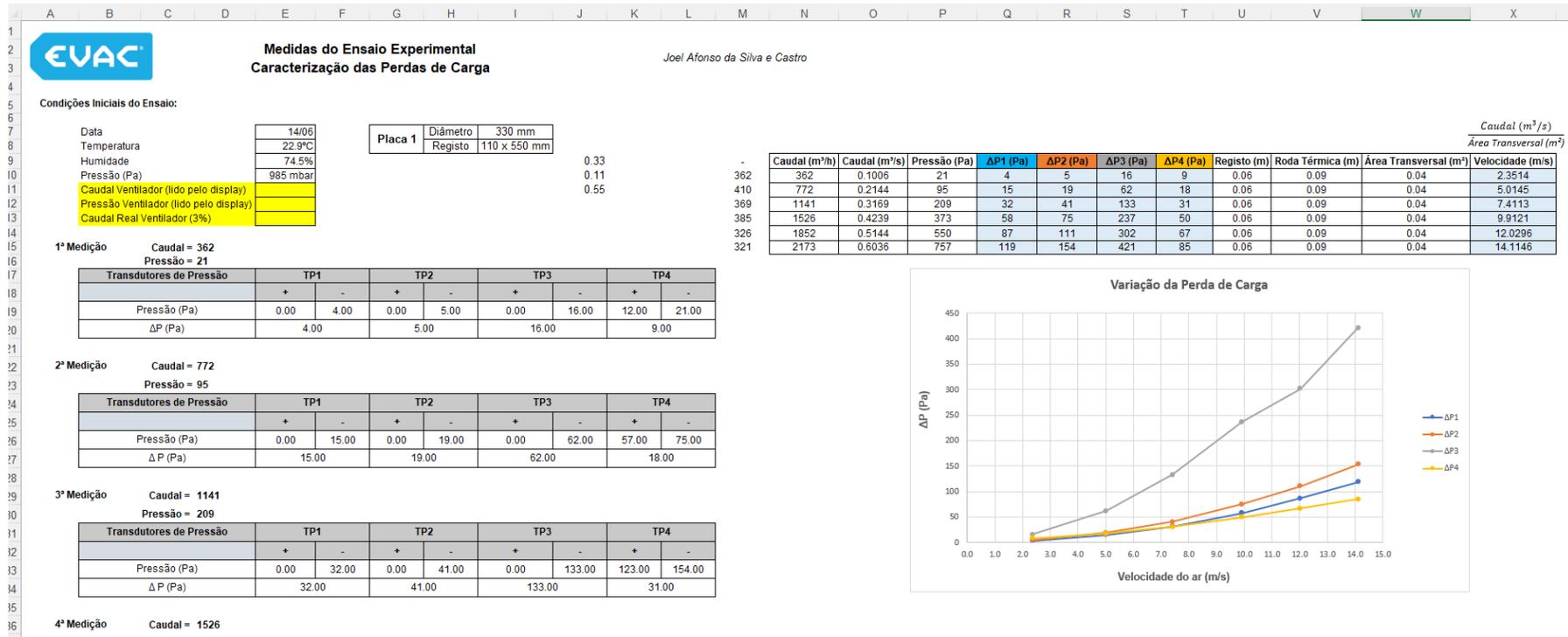


Figura 101: 1º Ensaio da Chapa Nº1, Situação 4 - Pág.1.

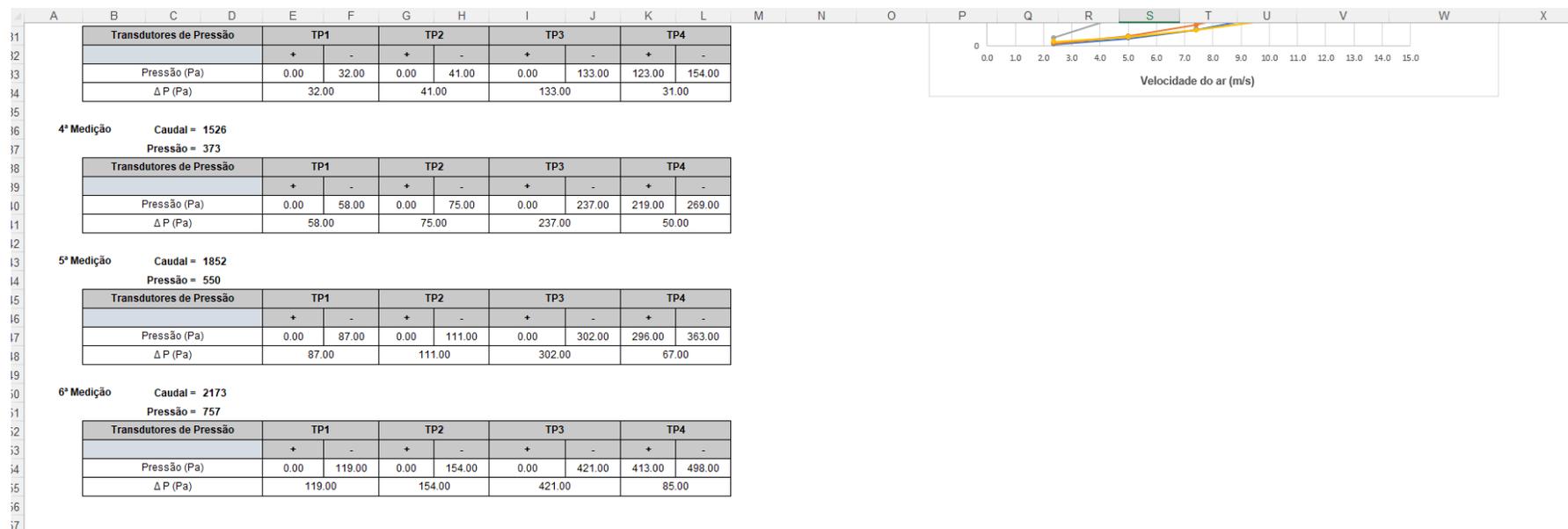


Figura 102: 1º Ensaio da Chapa N°1, Situação 4 - Pág.2.

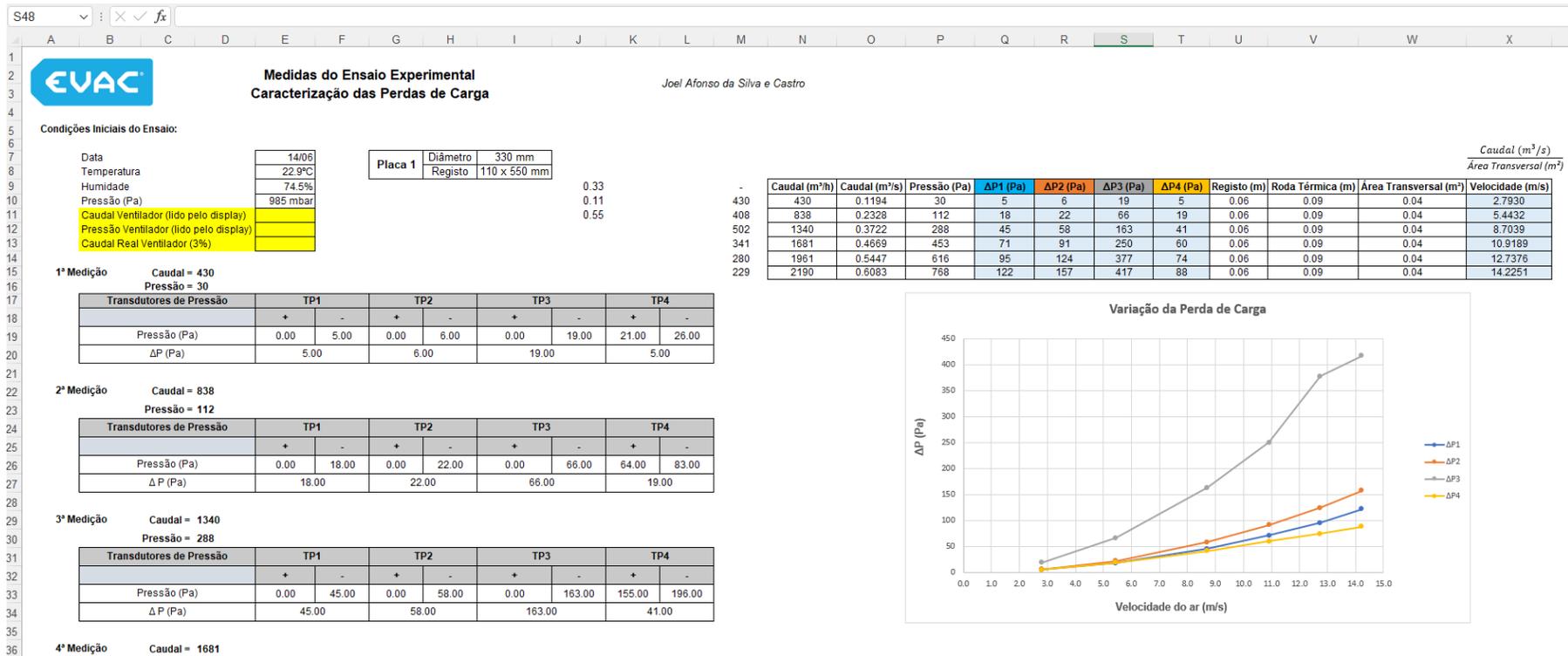


Figura 103: 2º Ensaio da Chapa Nº1, Situação 4 - Pág.1.

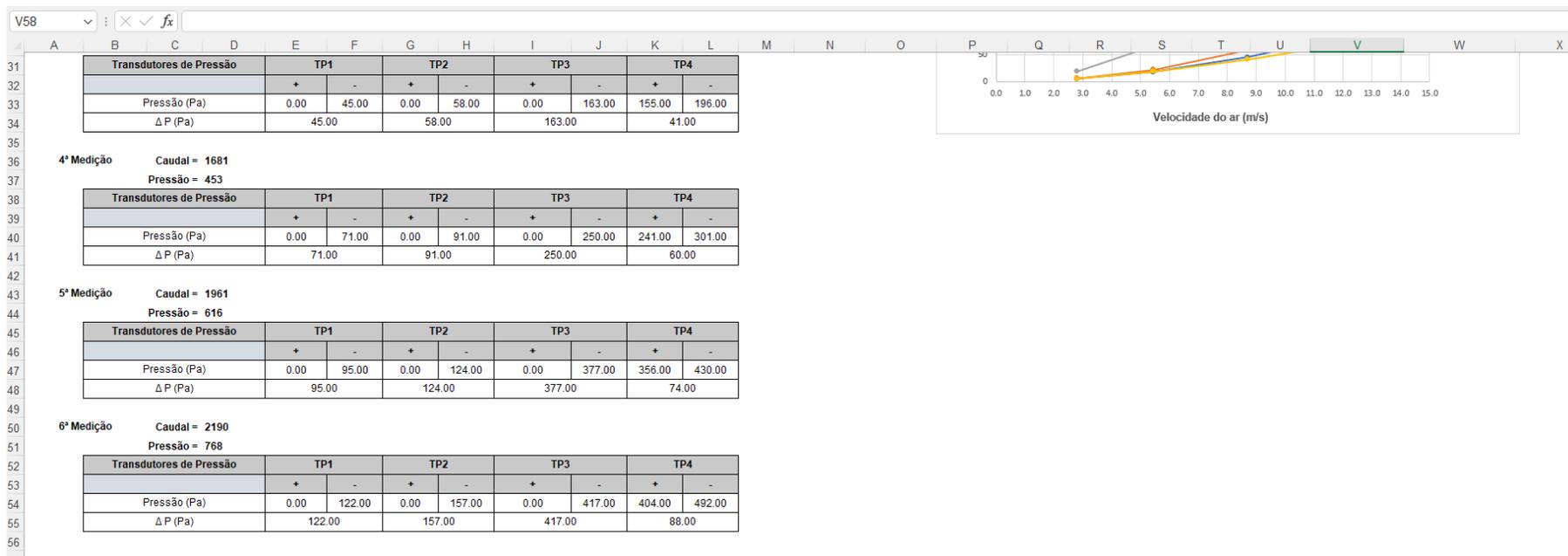
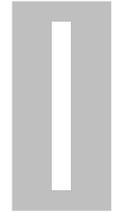


Figura 104: 2º Ensaio da Chapa Nº1, Situação 4 - Pág.2.

Anexo



Folha de Características da UTA

I.1 Folha de Seleção da UTA



DE	EVAC S.A. - Miguel Jesus	MODELO	UTA 20 st
OBRA	UTAN ISEP 2017	REF.	UTAN ISEP 2017

1. Implementação da diretiva 2009/125/EC - Regulamento 1253/2014 (requisitos Ecodesign)

	Insuflação	Extracção	NRVU - UVU
Sist. transmissão de várias vel. ou velocidade variável	Pel abs 0,68	-	kW
Potência eléctrica absorvida	η_{sys} 54,2	-	%
Rendimento estático global - grupo ventilador	ΔP 35	-	Pa
Perda de carga interna - ecodesign	SFP _{int.}	65	J/m ³
Specific Fan Power - ecodesign	SFP _{int_máx.}	230	J/m ³
Specific Fan Power máximo - ecodesign	(o)	1	%
Taxa máxima de fuga externa -400 Pa	(o)	1,5	%
Taxa máxima de fuga externa +400 Pa	(p)	1128	kW.h
Consumo energético anual dos filtros (Base cálculo documento 4/20 EUROVENT)			

A unidade está em conformidade com o regulamento, parâmetros 2018.

2. Especificações Construtivas

Estrutura de 25 em alumínio tratado. Painéis de dupla chapa com isolamento de poliuretano com densidade 44 kg/m³.
Chapa exterior em aço galvanizado plastificada de cor cinza.
Chapa interior em aço galvanizado.

Tendo em consideração as recomendações da norma: EN 13053
Classificação segundo a Norma EN 1886:2007: D1(M) / L1(M) / G1-F9 / T4 / TB4

3. Especificações Gerais

	Insuflação	Extracção	Ar novo	
Caudal Ar	2.250		2.250	Nm ³ /h
Densidade: 1,204 kg/m ³	0,752		0,752	kg/s
Pressão estática requerida	150			Pa
Condições do ar - Inverno / Verão				
Temperatura bulbo seco			4 / 29,7	°C
Humidade relativa			90 / 39	%

4. Esquisso

H = 845 + 100	[mm]
B = 665	
L = 2.080	± 5%
a = 785	b = 605
c = 785	d = 605
Nº Módulos : 1	
Peso total: 161 kg ± 5%	

5. UTA - Classificação da eficiência energética - Verão / Inverno

	Insuflação / Extracção		Verão	Inverno
Velocidade referência	1,31 / -	m/s		
Efic. Temp. para caudais iguais de ar	0 / -	%		
Efic. Humid. para caudais iguais de ar	0 / -	%		
Razão de ar de retorno	0	%		
Temperatura de projecto inverno	4,88	Pa/%		
Factor: Perda carga SRC - Eficiência temperatura				
ASHRAE 2017 Climatic Design Conditions				
PORTO PEDRA RUBAS, Portugal				
Temperatura bulbo seco de projeto	30,1	°C		
Temperatura de orvalho de projeto	13,8	°C		
Factor:				
Importância recup. temp. vs recup. Humid.	0,16	[0, 1]		
Perda de carga SRC - Eficiência de temperatura	1	Pa/%		
Perda de carga SRC - Eficiência de humidade	4,41	Pa/%		



Todos os componentes contemplados no programa EUROVENT AHU, excepto a caixa envolvente, encontram-se certificados.
A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.
A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.

Figura 105: Folha de Seleção da UTA - Pág.1.


EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.

www.evac.pt

OBRA: UTAN ISEP 2017

MODELO: UTA 20 st

REF.: UTAN ISEP 2017

6. Secção de entrada - Insuflação

Gola flexível para ligação à conduta

7. Secção de filtragem inicial - Insuflação

	Eficiência EN779 / ISO16890 G4 / Coarse 75%	Perda carga		Cálculo 150	Pa
		Inicial 34	Final 150		
Filtro Plano					
Extras: Pressostato diferencial: Filtro Plano					

8. Secção térmica - Bateria de Arrefecimento / Bateria de Aquecimento

 Permutador compacto com alhetas em alumínio e tubo em cobre.
 Tabuleiro de recolha de condensados em aço inox 304L.

Fiadas	6	2		
Espaçamento de alheta	2,5	2,5		mm
Ligação	1"	0,75"		
Condições do ar				
Caudal	2.250	2.250		m³/h
Velocidade facial no alhetado	1,79	1,79		m/s
Perda carga (seca/húmida)	73 / 102	16		Pa
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Entrada	29,7 / 39	4 / 90		°C / %
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Saída	13,3 / 94	35,8 / 12		°C / %
Capacidade de desumidificação	3,1			kg/h
Fluxo entálpico dos condensados	0,05			kJ/s
Potência sensível	12,18	23,97		kW
Fluido primário - Água/Glicol	0	0		%(kg)
Caudal	2.000	600		L/h
Potência total	14,57	23,97		kW
Regime de Temperatura Nominal	7 / 12	80 / 60		°C
Temperatura Saída	13,24	44,79		°C
Perda carga	28,4	14,9		kPa
Volume Interno	6,8	2,5		L
projectado para condições secas				

9. Secção do ventilador - Insuflação

Ventilador centrífugo de simples aspiração, pás recuadas, concebido para o uso sem envolvente "Plug Fan".

Modelo	P2802EC1			
Caudal	2.250	Nm³/h	Pressão estática disponível	150 Pa
Vel. Rotação	2.676	rpm	Pressão estática total	589 Pa
Potência no veio	0,546	kW	Pressão dinâmica	35 Pa
SFP (Class 2)	597	W/(m³/s)	Pressão total	624 Pa
SFPv / SFPe	597 / 867	W/(m³/s)		
Motor Eficiência EC				
Potência nominal	0,72	kW	Potência absorvida	0,679 kW
Número de polos	-		Classe protecção/isolamento	IP54/I
Vel. rotação nominal	2.800	rpm	Tensão nominal	1~ 200..277 V
Frequência funcionamento	47,8	Hz	Corrente nominal	3,100 A

O efeito do sistema no ventilador é tido em conta no seu desempenho.

Extras:

Interruptor motor eléctrico

10. Secção de filtragem final - Insuflação

	Eficiência EN779 / ISO16890 F7 / ePM2.5 70%	Perda carga		Cálculo 200	Pa
		Inicial 35	Final 200		
Filtro Saco (535 mm)					
Extras: Pressostato diferencial: Filtro Saco					

11. Secção de saída - Insuflação

Gola flexível para ligação à conduta

A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.11.0.15

Data de impressão :13-09-2022



Todos os componentes contemplados no programa EUROVENT AHU, excepto a caixa envolvente, encontram-se certificados.
 A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.
 A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.

Pg. 2
(cont.)

Figura 106: Folha de Seleção da UTA - Pág.2.



www.evac.pt

EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.

OBRA: UTAN ISEP 2017

MODELO: UTA 20 st

REF.: UTAN ISEP 2017

12. Espectro Acústico

	LWS	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
Insuflação - Descarga	74 dB(A)	65	59	72	68	71	66	60	54	dB
Insuflação - Admissão	70 dB(A)	60	57	66	63	61	65	63	55	dB
Insuflação - Exterior	64 dB(A)	56	51	60	58	55	60	53	36	dB

A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.11.0.15

Data de impressão :13-09-2022



Todos os componentes contemplados no programa EUROVENT AHU, excepto a caixa envolvente, encontram-se certificados.
 A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.
 A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.

Pg. 3
(últ. pg.)

Figura 107: Folha de Seleção da UTA - Pág.3.

I.2 Folha de Seleção do Ventilador

K3G280-AU06-B2

EC centrifugal module - RadiPac

backward-curved, single-intake
with support bracket



ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG

Bachmühle 2 · D-74673 Mulfingen

Phone +49 7938 81-0

Fax +49 7938 81-110

info1@de.ebmpapst.com

www.ebmpapst.com

Limited partnership · Headquarters Mulfingen

Amtsgericht (court of registration) Stuttgart · HRA 590344

General partner Elektrobau Mulfingen GmbH · Headquarters Mulfingen

Amtsgericht (court of registration) Stuttgart · HRB 590142

Nominal data

Type	K3G280-AU06-B2	
Motor	M3G084-GF	
Phase		1~
Nominal voltage	VAC	230
Nominal voltage range	VAC	200 .. 277
Frequency	Hz	50/60
Method of obtaining data		ml
Speed (rpm)	min ⁻¹	2800
Power consumption	W	715
Current draw	A	3.1
Min. ambient temperature	°C	-25
Max. ambient temperature	°C	40

ml = Max. load · me = Max. efficiency · fa = Free air · cs = Customer specification · ce = Customer equipment
Subject to change

Data according to Commission Regulation (EU) 327/2011 (EN 17166)

	Actual	Req. 2015			
01 Overall efficiency η_{ies}	%	58.8	50.1	09 Power consumption P_{ed}	kW 0.73
02 Measurement category		A		09 Air flow q_v	m ³ /h 1925
03 Efficiency category		Static		09 Pressure increase p_{fs}	Pa 737
04 Efficiency grade N		70.7	62	10 Speed (rpm) n	min ⁻¹ 2825
05 Variable speed drive		Yes		11 Specific ratio*	1.01

Data obtained at optimum efficiency level.

The efficiency values displayed for achieving conformity with the Ecodesign Regulation EU 327/2011 has been reached with defined air duct components (e.g. inlet rings). The dimensions must be requested from ebm-papst. If other air conduction geometries are used on the installation side, the ebm-papst evaluation loses its validity/the conformity must be confirmed again. The product does not fall within the scope of Regulation (EU) 2019/1781 due to the exception specified in Article 2 (2a) (motors completely integrated into a product).

*Specific ratio = $1 + p_{fs} / 100\,000\text{ Pa}$

LU-162089



Figura 108: Folha de Seleção do Ventilador - Pág.1.

K3G280-AU06-B2

EC centrifugal module - RadiPacbackward-curved, single-intake
with support bracket**Technical description**

Weight	11.5 kg
Size	280 mm
Motor size	84
Rotor surface	Painted black
Electronics housing material	Die-cast aluminum
Impeller material	Sheet aluminum
Support plate material	Sheet steel, galvanized
Support bracket material	Steel, painted black
Inlet nozzle material	Sheet steel, galvanized
Number of blades	7
Direction of rotation	Clockwise, viewed toward rotor
Degree of protection	IP54
Insulation class	"B"
Moisture (F) / Environmental (H) protection class	H1
Max. permitted ambient temp. for motor (transport/storage)	+80 °C
Min. permitted ambient temp. for motor (transport/storage)	-40 °C
Installation position	Shaft horizontal or rotor on bottom; rotor on top on request
Condensation drainage holes	On rotor side
Mode	S1
Motor bearing	Ball bearing
Technical features	<ul style="list-style-type: none"> - Output 10 VDC, max. 10 mA - Output 20 VDC, max. 50 mA - Output for slave 0-10 V - Input for sensor 0-10 V or 4-20 mA - Alarm relay - Motor current limitation - PFC, active - RS-485 MODBUS-RTU - Soft start - Control input 0-10 VDC / PWM - Control interface with SELV potential safely disconnected from supply - Thermal overload protection for electronics/motor - Line undervoltage / phase failure detection
EMC immunity to interference	According to EN 61000-6-2 (industrial environment)
EMC circuit feedback	According to EN 61000-3-2/3
EMC interference emission	According to EN 55022 (Class B, household environment)
Touch current according to IEC 60990 (measuring circuit Fig. 4, TN system)	<= 3.5 mA
Electrical hookup	Terminal box
Motor protection	Thermal overload protector (TOP) internally connected
Protection class	I (with customer connection of protective earth)
Conformity with standards	EN 61800-5-1; CE; UKCA
Approval	EAC; CCC



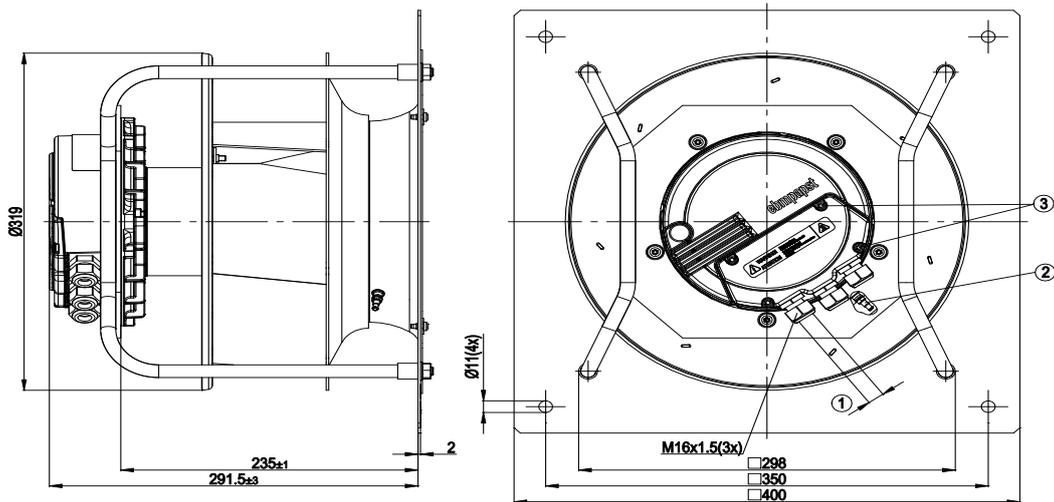
Figura 109: Folha de Seleção do Ventilador - Pág.2.

K3G280-AU06-B2

EC centrifugal module - RadiPac

backward-curved, single-intake
with support bracket

Product drawing



- | | |
|---|--|
| 1 | Cable diameter min. 4 mm, max. 10 mm; tightening torque 2.5±0.4 Nm |
| 2 | Inlet ring with pressure tap (k-factor 93) |
| 3 | Tightening torque 3.5 ± 0.5 Nm |



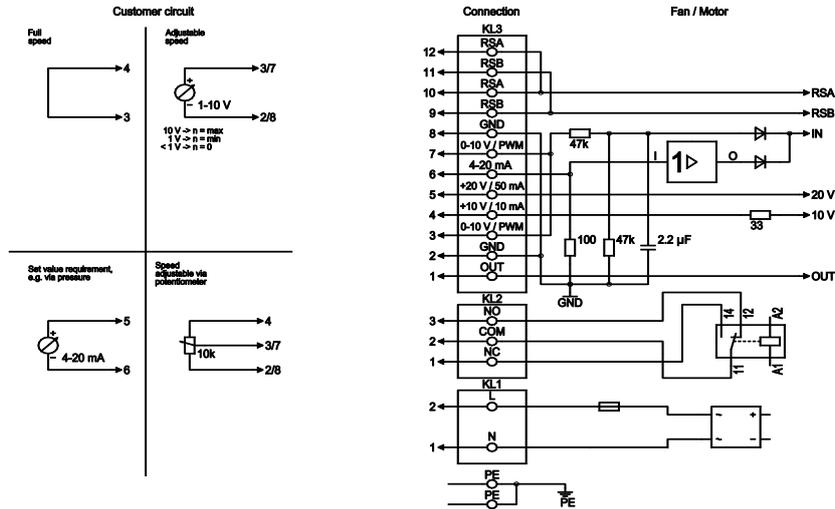
Figura 110: Folha de Seleção do Ventilador - Pág.3.

K3G280-AU06-B2

EC centrifugal module - RadiPac

backward-curved, single-intake
with support bracket

Connection diagram



No.	Conn.	Designation	Function/assignment
PE	-	PE	Protective earth terminal
KL1	1, 2	N, L	Power supply 50/60 Hz
KL2	1	NC	Floating status contact, break for failure
KL2	2	COM	Floating status contact, changeover contact, common connection (2 A, max. 250 VAC, min. 10 mA, AC1)
KL2	3	NO	Floating status contact, make for failure
KL3	1	OUT	Analog output, 0-10 VDC, max. 3 mA, SELV output of current motor modulation level: 1 V corresponds to 10% modulation level. 10 V corresponds to 100% modulation level.
KL3	2, 8	GND	Reference ground for control interface, SELV
KL3	3, 7	0-10 V	Control/current sensor value input 0-10 VDC, impedance 100 kΩ, use only as alternative to 4-20 mA input, SELV
KL3	4	+10 V	Voltage output 10 VDC (+/- 3%), max. 10 mA, power supply for ext. devices (e.g. potentiometer), SELV
KL3	5	+20 V	Voltage output 20 VDC (+25%/-10%), max. 50 mA power supply for ext. devices (e.g. sensors), SELV
KL3	6	4-20 mA	Control/current sensor value input 4-20 mA, impedance 100 Ω, use only as alternative to 0-10 V input, SELV
KL3	9, 11	RSB	RS485 interface for MODBUS, RSB
KL3	10, 12	RSA	RS485 interface for MODBUS, RSA



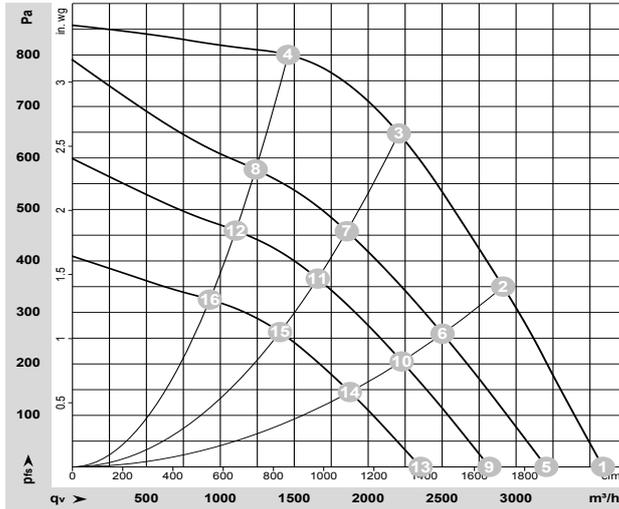
Figura 111: Folha de Seleção do Ventilador - Pág.4.

K3G280-AU06-B2

EC centrifugal module - RadiPac

backward-curved, single-intake
with support bracket

Curves: Air performance 50 Hz



$\rho = 1.15 \text{ kg/m}^3 \pm 2 \%$

Measurement: LU-162089-1

Air performance measured according to ISO 5801 installation category A. For detailed information on the measurement setup, contact ebmpapst. Intake sound level: Sound power level according to ISO 13347 / sound pressure level measured at 1 m distance from fan axis. The values given are valid under the specified measuring conditions and may vary due to conditions of installation. For deviations from the standard configuration, the parameters have to be checked on the installed unit.

Measured values

	Wired	U	f	n	P _{ed}	I	Lp _{Ain}	Lw _{Ain}	Lw _{Aout}	q _v	P _{fs}	q _v	P _{fs}
	V	Hz	min ⁻¹	W	A	dB(A)	dB(A)	dB(A)	m ³ /h	Pa	cfm	in. wg	
1	1~	230	50	2825	501	2.23	78	85	90	3590	0	2110	0.00
2	1~	230	50	2810	638	2.82	73	81	86	2910	350	1715	1.41
3	1~	230	50	2800	715	3.10	72	80	86	2205	650	1300	2.61
4	1~	230	50	2820	676	2.99	73	82	87	1460	800	860	3.21
5	1~	230	50	2515	357	1.63	76	82	87	3205	0	1885	0.00
6	1~	230	50	2420	404	1.82	70	77	83	2505	259	1475	1.04
7	1~	230	50	2360	433	1.94	68	76	82	1855	459	1090	1.84
8	1~	230	50	2405	411	1.85	69	77	83	1240	579	730	2.32
9	1~	230	50	2220	249	1.19	72	79	84	2820	0	1660	0.00
10	1~	230	50	2160	284	1.33	67	74	80	2225	205	1310	0.82
11	1~	230	50	2110	309	1.43	66	74	80	1660	367	975	1.47
12	1~	230	50	2150	288	1.35	66	74	80	1105	460	650	1.85
13	1~	230	50	1860	151	0.83	68	75	80	2355	0	1385	0.00
14	1~	230	50	1815	176	0.92	63	71	77	1875	145	1105	0.58
15	1~	230	50	1785	192	0.97	62	70	76	1405	264	825	1.06
16	1~	230	50	1815	177	0.92	62	70	76	930	326	545	1.31

Wired = Wiring · U = Voltage · f = Frequency · n = Speed (rpm) · P_{ed} = Power consumption · I = Current draw · Lp_{Ain} = Sound pressure level intake side · Lw_{Ain} = Sound power level intake side
Lw_{Aout} = Sound power level outlet side · q_v = Air flow · p_{fs} = Pressure increase



Figura 112: Folha de Seleção do Ventilador - Pág.5.