



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE VENTILAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO COMPRESSOR DE AR AIRLET LE11



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE VENTILAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO COMPRESSOR DE AR AIRLET LE11

Estudo realizado para o CIC/Chefia

Lisboa • maio 2023

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 212/2023 – **CIC/NSEM**

Título

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE VENTILAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO COMPRESSOR DE AR AIRLET LE11

Autoria

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Ulisses Fernandes

Investigador Auxiliar, Núcleo de Sistemas Eletrotécnicos e Mecânicos

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 212/2023

Proc. 0903/1201/2226901

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE VENTILAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO COMPRESSOR DE AR AIRLET LE11

Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar as condições de ventilação da instalação do compressor de ar da Atlas Copco Airlet LE11, responsável pelo fornecimento de ar comprimido aos laboratórios localizados no Pavilhão de Macau no LNEC.

A análise baseou-se no levantamento de dados e informação disponíveis bem como nas visitas efetuadas ao local onde o compressor está instalado. A partir dos dados e informações obtidos foram feitos cálculos de verificação das áreas das grelhas existentes e elaborada uma proposta de melhoria da ventilação da sala do compressor, que passa por um aumento das áreas das grelhas de admissão e de exaustão, tendo em consideração as áreas mínimas recomendadas pelos fabricantes deste tipo de compressores de ar.

A ação combinada do efeito de chaminé com o efeito do vento mais favorável permitiu obter o valor do caudal total de ventilação muito próximo do caudal de ventilação recomendado pelo fabricante.

Palavras-chave: Compressor de ar / Sala do compressor / Ventilação

ANALYSIS OF VENTILATION CONDITIONS OF THE INSTALLATION OF THE AIRLET LE11 AIR COMPRESSOR

Abstract

This study aims to analyse the ventilation conditions of the installation of the Atlas Copco Airlet LE11 air compressor, that supplies compressed air to the Macau Building at LNEC.

The analysis was based on the available data and information, as well as on visits made to the place where the compressor is installed. From the data and information obtained, some calculations were made to verify the areas of the existing ventilation openings and a proposal was made to improve the ventilation of the compressor room, which involves an increase in the areas of the intake and exhaust openings, considering the minimum areas recommended by manufacturers of this type of air compressor.

The combined action of the stack effect with the more favourable wind effect allows to obtain the value of the total ventilation flow rate very close to the ventilation flow rate recommended by the manufacturer.

Keywords: Compressed air / Compressor room / Ventilation

Índice

1	Introdução	1
2	Metodologia	2
3	Caraterização da instalação do compressor	3
3.1	Localização da instalação	3
3.2	Descrição sumária do compressor	4
3.3	Cálculo do caudal de ar e área de entrada de ventilação	5
3.4	Ventilação por efeito de chaminé	7
3.5	Ventilação por efeito da ação do vento	8
4	Proposta de melhoria da ventilação	10
5	Conclusões	13
	Referências bibliográficas	15

Índice de figuras

Figura 3.1 – Localização da sala do compressor Atlas Copco Airlet LE11. Vista do acesso ao compartimento da instalação de gás	3
Figura 3.2 – Grelhas de ventilação na porta localizada na fachada virada a Norte	4
Figura 3.3 – Compressor Atlas Copco Airlet LE11: A – Motor elétrico; B – Compressor; C – Reservatório.....	5
Figura 3.4 – Esquema da sala do compressor: $h = 1,77$ m	7
Figura 4.1 – Localização e área das grelhas de admissão de ar.....	10
Figura 4.2 – Localização e área da grelha de exaustão de ar quente	11

Índice de quadros

Quadro 3.1 – Características do compressor Airlet LE11	5
Quadro 3.2 – Dimensões e áreas das grelhas	6
Quadro 3.3 – Resumo das soluções encontradas para a ventilação por efeito de chaminé	8
Quadro 3.4 – Resumo das soluções encontradas para a ventilação por efeito da ação do vento	9
Quadro 4.1 – Custo de aquisição das novas grelhas de ventilação	12

1 | Introdução

A utilização do ar comprimido é transversal a toda a indústria, devido à segurança, versatilidade de aplicações e produtividade que garante. Contudo, a sua produção origina custos elevados que podem representar entre 5 e 20% dos custos globais da energia elétrica do processo de fabrico. Por essa razão necessita de ser controlado tanto na produção e na sua distribuição, como na boa utilização no consumidor final.

A localização de uma instalação de ar comprimido deve garantir as condições ambientais favoráveis, nomeadamente em questões de temperatura ambiente, humidade, ventilação e contaminação do ar de admissão (Adene, 2017). Assim, há todo o interesse em aspirar ar frio e limpo para a sala do compressor, pelo que se deve evitar locais soalheiros, húmidos ou poeirentos. Devem ser consideradas grelhas de admissão de ar (do exterior) para uma boa ventilação da sala de compressores. Estas grelhas devem ser constituídas por aberturas bem dimensionadas e estarem livres de eventuais obstruções causadas por objetos armazenados. Devem estar localizadas em fachadas viradas a Norte, sempre que possível, e em áreas não expostas ao Sol. Em geral, os compressores de ar não funcionam em ambientes com temperatura de admissão inferior a 1º C ou superior a 45 °C. Alguns ainda são mais exigentes e não funcionam em ambientes a temperaturas acima de 40 °C.

A elaboração deste estudo tem como objetivo principal analisar a localização e as condições de ventilação da instalação do compressor de ar Atlas Copco Airlet LE11, responsável pelo fornecimento de ar comprimido ao Pavilhão de Macau no LNEC, e sugerir medidas de melhoria que possam contribuir para aumentar a eficiência de ventilação da sala do compressor e reduzir os riscos de avarias por excesso de temperatura. Uma ventilação adequada não só aumenta a fiabilidade do compressor, mas também ajuda a minimizar os custos de manutenção.

2 | Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

1. Visitas à instalação do compressor em estudo;
2. Medição das dimensões da sala do compressor e das aberturas das grelhas de ventilação;
3. Levantamento de dados relevantes sobre o compressor;
4. Análise dos dados recolhidos e cálculo do caudal de ar e da área das grelhas de ventilação;
5. Elaboração de sugestões de melhoria que possam contribuir para aumentar a eficiência de ventilação da sala do compressor;
6. Elaboração do presente relatório.

3 | Caraterização da instalação do compressor

3.1 Localização da instalação

O compressor encontra-se instalado num pequeno edifício com 2,74 metros de comprimento, 1,68 metros de largura e 2,06 metros de altura, localizado no exterior do edifício do Pavilhão de Macau no LNEC (Figura 3.1). O acesso à sala do compressor é feito por uma porta de 2,0 metros de altura e 1,5 metros de largura, localizada na fachada virada a Norte (Figura 3.2). Existe um pequeno compartimento destinado à instalação de gás, cujo acesso é feito pela porta localizada na fachada virada a Este. Este compartimento não tem qualquer comunicação com a sala do compressor. Na fachada virada a Sul existem 2 aberturas, sendo uma provida de uma grelha (retangular) com 30 cm de comprimento e 20 cm de largura para a exaustão de ar quente da sala do compressor, e outra (quadrada) com 28,5 cm de lado que serve de exaustão de ar do refrigerador.



Figura 3.1 – Localização da sala do compressor Atlas Copco Airlet LE11. Vista do acesso ao compartimento da instalação de gás

É de referir que existem 4 grelhas iguais na porta de acesso à sala do compressor, sendo 2 localizadas na parte inferior (a 10,5 cm do chão) e 2 na parte superior da porta (Figura 3.2). Estas grelhas têm 30 cm de comprimento e 13,5 cm de largura e permitem a admissão do ar do exterior, evitando possível entrada de poeiras e outros materiais sólidos na sala do compressor.



Figura 3.2 – Grelhas de ventilação na porta localizada na fachada virada a Norte

3.2 Descrição sumária do compressor

O compressor objeto deste estudo é o compressor da Atlas Copco, modelo Airlet LE11, apresentado na figura 3.3, onde se podem observar os componentes mais importantes. Trata-se de um compressor de pistão, com dois cilindros arrefecido a ar. Este compressor fornece ar comprimido ao Pavilhão de Macau no LNEC. O ar comprimido é posteriormente armazenado num reservatório da marca Atlas Copco (P)LC510 antes de ser distribuído para os diversos pontos de consumo (Figura 3.3). As características técnicas deste compressor encontram-se indicadas no quadro 3.1.

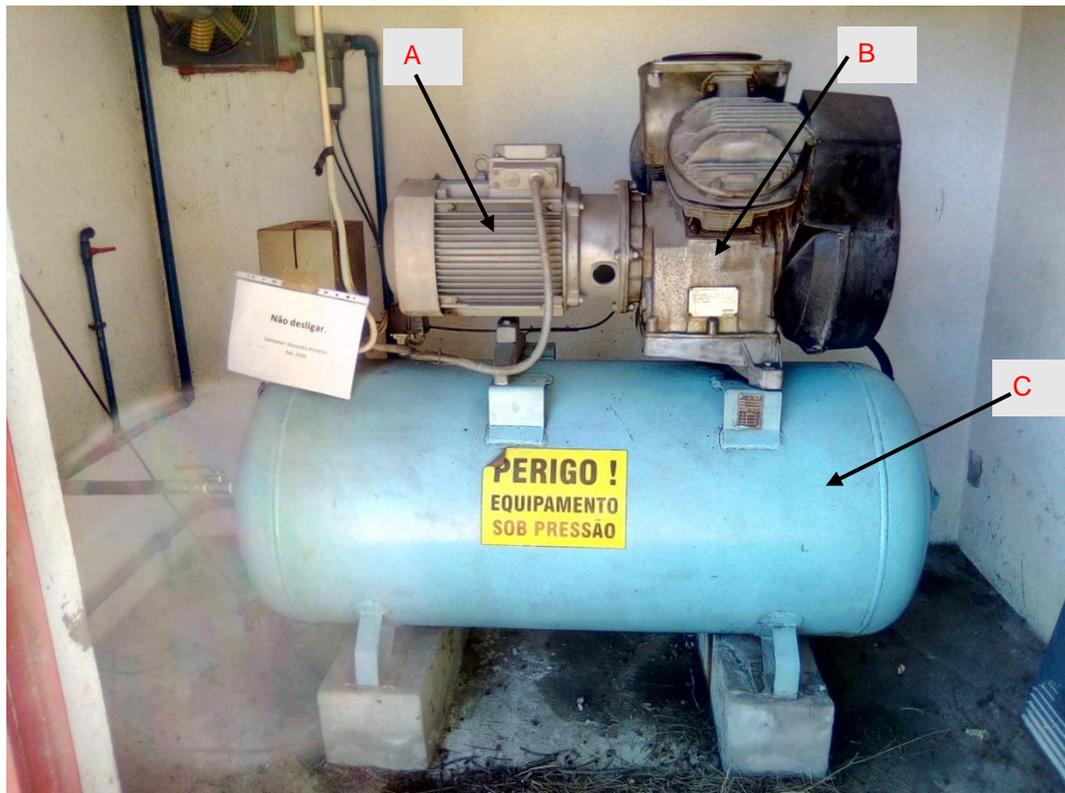


Figura 3.3 – Compressor Atlas Copco Airlet LE11: A – Motor elétrico; B – Compressor; C – Reservatório

Quadro 3.1 – Características do compressor Airlet LE11

Motor	ASEA 160 M-4
Potência	11/13,2 kW (50/60 Hz)
Rotação	1455/1750 rpm
Reservatório	0,500 m ³
Pressão máxima	10 bar
Temperatura máxima	40 °C

3.3 Cálculo do caudal de ar e área de entrada de ventilação

O caudal de ar de ventilação é determinado em função da potência do compressor e do método de arrefecimento usado. Em geral, o ar de ventilação para compressores arrefecidos a ar, como é o caso deste compressor, pode convectar aproximadamente 100% da energia libertada pelo motor elétrico sob a forma de calor. Este calor deve ser removido para manter a temperatura na sala do compressor num nível aceitável. O caudal de ar de ventilação, em m³/s, para o arrefecimento do compressor pode ser calculado aplicando a equação 1 (Atlas Copco – *Compressed air Manual*),

$$q_v = \frac{P_v}{1,21 \times \Delta T} \quad (1)$$

onde P_v representa o fluxo de calor, em kW, e ΔT representa a variação de temperatura na sala do compressor. O caudal de ar de ventilação deve ser suficiente para limitar o aumento de temperatura na sala entre 7 e 10 °C, considerando a velocidade do ar na abertura de entrada de ventilação não superior a 4 m/s (Atlas Copco – *Compressed air Manual*). Assim, admitindo um aumento de temperatura na sala do compressor de 9 °C e admitindo uma potência térmica igual à potência do motor elétrico de 11 kW (Quadro 2.1), obtém-se o valor de 1,01 m³/s para o caudal de ar de ventilação (3636 m³/h, aproximadamente). Este valor é muito semelhante ao valor recomendado por outros fabricantes de compressores de ar. A Boge (*Boge Compressed Air Systems*), por exemplo, estima um valor de caudal de ar de ventilação de 3700 m³/h, considerando uma área mínima de entrada/saída de ar de cerca de 0,50 m² para compressores de 11 kW de potência.

Analisando os dados recolhidos e as medições das dimensões das grelhas, obtém-se os valores representados no quadro 3.2. Comparando estes valores com o valor da área mínima recomendada por alguns fabricantes, nota-se claramente que existe uma diferença significativa em relação ao valor da área mínima recomendada, em especial da área da grelha de saída de ar quente localizada na parede da fachada Sul. Com base nestes resultados, conclui-se que é necessário aumentar as áreas de admissão de ar de ventilação e de exaustão de ar quente da sala de modo a reduzir o risco de aquecimento excessivo durante o funcionamento do compressor.

Quadro 3.2 – Dimensões e áreas das grelhas

Grelha	Dimensões (Comp x Largura) cm	Área m ²
Porta (Fachada Norte)	4 x (30 x 13,5)	0,162
Parede Sul	30 x 20	0,060
Saída do refrigerador de ar	28,5 x 28,5	0,081

Por outro lado, para regiões de clima temperado, como é o caso de Lisboa, em que a temperatura exterior de projeto de verão é de 32 °C (RCCTE – DL n.º 80/2006), e é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento ambiente em edifícios com pequenas cargas internas, é expectável que o aumento da temperatura na sala do compressor seja maior, podendo ultrapassar a temperatura máxima recomendada de 40 °C para este tipo de compressor. Daí a necessidade de se proceder a um aumento da área da grelha de admissão na porta da fachada Norte, bem como da área da grelha de saída de ar quente na parede da fachada Sul, de forma a evitar situações indesejáveis decorrentes de paragens repentinas do compressor por aquecimento excessivo. Para valores de temperatura exterior superior a 32 °C, o aumento da temperatura na sala deverá ser, no máximo, de 8 °C para evitar que a temperatura na sala do compressor ultrapasse os 40 °C.

3.4 Ventilação por efeito de chaminé

Para o dimensionamento da solução de ventilação natural, por efeito de chaminé, será aplicado o procedimento de cálculo do caudal de ar de ventilação proposto pelo fabricante do compressor (Atlas Copco) e dado pela equação 1. A área livre equivalente mínima das grelhas para ventilação em função do caudal de ar (q_v) e da velocidade de entrada (v_e) poderá ser calculada da seguinte forma (equação 2).

$$A_{eq} = \frac{q_v}{v_e} \quad (2)$$

Onde A_{eq} é função das áreas das aberturas de entrada (A_e) e de saída (A_s) ($\frac{1}{A_{eq}^2} = \frac{1}{A_e^2} + \frac{1}{A_s^2}$) e v_e deriva da equação de Bernoulli ($p + \frac{1}{2}\rho v_e^2 + \rho gh = Cte$):

$$v_e = C_d \sqrt{2gh \left(1 - \frac{T_e}{T_i}\right)} \quad (3)$$

Em que:

- v_e : Velocidade do ar à entrada (m/s)
- C_d : Coeficiente de descarga (ou vazão) (Na prática corrente, para uma abertura de bordos retos, considera-se um valor aproximado de 0,6)
- g : Aceleração da gravidade (m/s²)
- h : Distância vertical entre os centros das grelhas (m) conforme indicado na figura 3.4.
- T_e : Temperatura exterior (K)
- T_i : Temperatura interior (K)

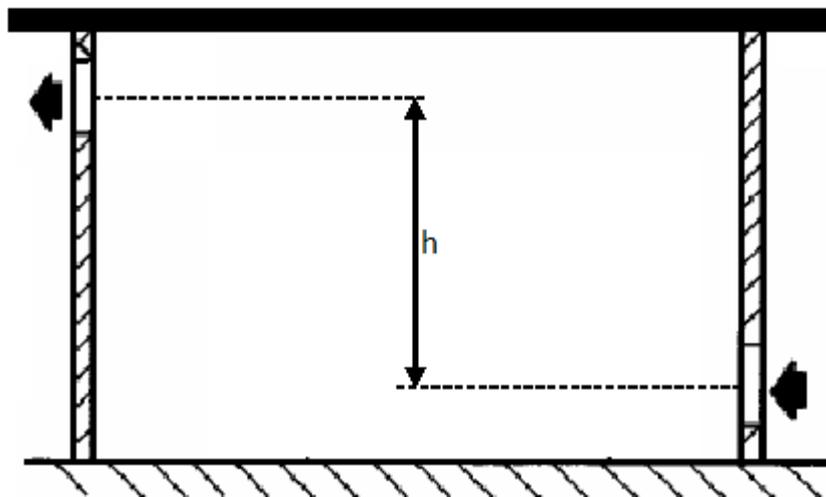


Figura 3.4 – Esquema da sala do compressor: $h = 1,77$ m

O quadro 3.3 apresenta um resumo das soluções encontradas com a aplicação do dimensionamento para a ventilação natural, por efeito de chaminé, para $h = 1,77$ m. Conforme se pode observar, para a ventilação por efeito de chaminé, isoladamente, a área equivalente mínima das grelhas de ventilação deverá ser de $1,44$ m², para um aumento máximo de temperatura de 10 °C. Com este resultado, a área de cada grelha deverá ser de $2,03$ m², aproximadamente (admitindo $A_e = A_s$). Este valor é muito superior ao da área recomendada pelo fabricante.

Quadro 3.3 – Resumo das soluções encontradas para a ventilação por efeito de chaminé

q_v (m ³ /s)	ΔT (°C)	v_e (m/s)	A_{eq} (m ²)
1,30	7	0,53	2,46
1,14	8	0,56	2,01
1,01	9	0,60	1,69
0,91	10	0,63	1,44

3.5 Ventilação por efeito da ação do vento

O cálculo do caudal de ar por efeito da ação do vento pode ser efetuado utilizando a equação 4 (Chiarello, 2006).

$$q_v = 0,6 \times A_{eq} \times v \sqrt{C_e - C_s} \quad (4)$$

Com,

- q_v : Caudal de ventilação (m³/s)
- A_{eq} : Área equivalente mínima das aberturas (m²)
- v : Velocidade do vento (m/s)
- C_e : coeficiente de pressão à entrada
- C_s : coeficiente de pressão à saída

No caso da direção do vento não ser normal à fachada, $v = v_o \times \cos\theta$,

Com,

- v_o : Velocidade do vento externo (m/s)
- θ : ângulo de incidência do vento em relação à normal à fachada

O quadro 3.4 apresenta os valores do caudal de ar devido ao efeito da ação do vento, assumindo uma velocidade do vento de 1 m/s e área equivalente de $0,5$ m² (área recomendada pelo fabricante), para vento nas direções Norte e Sudoeste.

Para vento na direção Norte, haverá um incremento do caudal de ar insuflado de cerca de 0,34 m³/s, uma vez que a saída de ar se encontra localizada na fachada Sul (a favor do vento), favorecendo deste modo a saída do ar, ao contrário do que acontece quando o vento sopra de Sudoeste, criando neste caso um obstáculo à saída do ar para fora da sala do compressor. Os valores de C_e e C_s são os recomendados pela Norma NP EN 1991-1-4.

Quadro 3.4 – Resumo das soluções encontradas para a ventilação por efeito da ação do vento

Rumo do vento	q _v (m ³ /s)	C _e	C _s
Norte	0,34	0,8	-0,5
Sudoeste	0,24	0,8	-0,5

O caudal total de ar de ventilação, devido à ação combinada do efeito de chaminé e do vento, pode ser calculado pela equação 5 (Amaral, 2008).

$$q_t = \sqrt{q_c^2 + q_v^2} \quad (5)$$

Com,

- q_t: Caudal total de ventilação devido ao efeito combinado (m³/s)

- q_c: Caudal devido ao efeito de chaminé (m³/s)

- q_v: Caudal devido ao efeito do vento (m³/s)

Para vento na direção Norte, situação mais favorável, o caudal total de ventilação devido ao efeito combinado será de 0,97 (m³/s), aproximadamente, considerando a área das grelhas de 0,5 m². Note-se que este valor é muito próximo do valor obtido utilizando a equação 1 recomendada pelo fabricante.

4 | Proposta de melhoria da ventilação

A avaliação das condições de ventilação da sala do compressor permite concluir que algumas intervenções serão necessárias, para que a ventilação ocorra de maneira mais eficiente, tais como a alteração da área das grelhas de admissão e de exaustão existentes.

1. As aberturas na porta de acesso à sala do compressor, na fachada virada a Norte (Figura 3.2), estão bem orientadas, mas em virtude da sua pequena área ($0,081 \text{ m}^2$ – duas aberturas na parte inferior da porta) não proporcionam uma circulação eficiente do fluxo de ar frio para o interior. Propõe-se o aumento da área das grelhas de admissão de ar para um valor mínimo de $0,25 \text{ m}^2$ cada grelha ($0,50 \text{ m}^2$ no total das duas grelhas), tal como recomendado pelos fabricantes de compressores com esta potência (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Localização e área das grelhas de admissão de ar

2. Para se aproximar deste perfil de área de abertura necessária, propõe-se também o aumento da área da grelha de exaustão de ar quente, na parede virada a Sul, para um mínimo de $0,5 \text{ m}^2$ (Figura 4.2), de modo a não permitir recirculações de ar quente que contribuam para o aumento da temperatura no interior da sala do compressor.



Figura 4.2 – Localização e área da grelha de exaustão de ar quente

Recomenda-se a instalação das seguintes grelhas:

Aberturas de ventilação na porta (2 grelhas)

- Distância vertical entre os centros das grelhas: 1,5 metros
- Posição da admissão de ar: Zona inferior da porta (Fachada virada a Norte)
- Tipo de grelhas: grelhas para porta «anti-visão», lâminas em "v" invertido horizontais fixas, modelo AGS-T (Fornecedor: Contimetra – www.contimetra.com)
- Material: A grelha frontal e contra aro (AGS-T) são feitos a partir de perfil de alumínio extrudido, anodizado
- Dimensões: 525 x 525 (mm)

Aberturas de exaustão na parede exterior (1 grelha na fachada virada a Sul)

- Posição da saída de ar: Zona superior da parede oposta à de admissão de ar
- Tipo de grelhas: grelhas para exterior, com boa proteção contra a entrada de água, folhas e pássaros (Fornecedor: Contimetra – www.contimetra.com)
- Material: Modelo WG (Aço galvanizado) ou modelo WG-AL (Alumínio anodizado)
- Dimensões: Comprimento x Largura - 1000 x 660 (mm)

O custo de aquisição das novas grelhas de ventilação será de 510,45 € (total com IVA incluído), conforme indicado no quadro. 4.1.

Quadro 4.1 – Custo de aquisição das novas grelhas de ventilação

Designação	Modelo	Dimensão BxH (mm)	Preço unitário €	Quantidade	Sub-total €
Grelhas de porta	AGS-T (Inclui contra aro)	525x525	132	2	264
Grelhas para exterior	WG	1000x660	151	1	151
Total (Sem IVA)					415

5 | Conclusões

Este relatório apresenta as principais conclusões resultantes da análise das condições de ventilação da sala do compressor de ar da Atlas Copco Airlet LE11, responsável pelo fornecimento de ar comprimido ao Pavilhão de Macau no LNEC. A avaliação das condições de ventilação da sala do compressor permite concluir que algumas intervenções serão necessárias, nomeadamente a alteração das áreas das grelhas de admissão e de exaustão existentes, para que a ventilação ocorra de forma mais eficiente.

As aberturas na porta de acesso à sala do compressor, em virtude da sua pequena área ($0,081 \text{ m}^2$ – duas aberturas na parte inferior da porta) não proporcionam uma circulação satisfatória do fluxo e ar frio para o interior da sala do compressor. Propõe-se o aumento da área das grelhas de admissão para um mínimo de $0,25 \text{ m}^2$ para cada grelha (num total de $0,50 \text{ m}^2$ para as duas grelhas). Do mesmo modo, considera-se necessário o aumento da área da grelha de exaustão de ar quente, localizada na parede virada a Sul, para um valor mínimo de $0,50 \text{ m}^2$.

O dimensionamento da ventilação por efeito de chaminé, isoladamente, conduziu a um valor da área das grelhas muito superior ao da área recomendada pelo fabricante. Esta diferença deve-se à possibilidade de consideração das diversas variáveis que ajustam os resultados a cada situação de ventilação, tais como a temperatura média verificada, a diferença de temperatura pretendida entre o ar exterior e o ar na sala do compressor, a distância entre os centros das grelhas de entrada e de saída e o coeficiente de perda de carga.

Verificou-se, contudo, que a consideração, em conjunto, da ação do vento e do efeito de chaminé permite a obtenção de um caudal satisfatório, mesmo para velocidades de vento reduzidas. Esta conclusão permite confirmar tecnicamente as recomendações do fabricante do compressor de ar.

Lisboa, LNEC, janeiro de 2023

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Sistemas Eletrotécnicos e
Mecânicos



Paulo Gil de Morais

AUTORIA



Ulisses Fernandes
Investigador Auxiliar

O Diretor do Centro de Instrumentação Científica



João Carlos Viegas

Referências bibliográficas

- AMARAL, M. A., 2008 – **Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação**.
Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Atlas Copco – **Compressed air Manual**. 8th edition. Disponível em: <https://www.atlascopco.com>.
- Bodge – **Compressed Air Systems**. Disponível em: <http://biaut.pt/pt/homepage>.
- CHIARELLO, A., 2006 – **Ventilação natural por efeito chaminé – estudo em modelo reduzido de pavilhões industriais**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – Brasil.
- Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. ADENE - Agência para a Energia, 2017.
- OLIVEIRA, P., 2018 – **Análise de Eficiência dos Sistemas de Ar Comprimido em Unidades Industriais**. Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- PENEDA, M., 2013 – **Recomendações para o Projecto de Sistemas de Ventilação Mista em Edifícios de Habitação**. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Regulamento das Características do Comportamento Térmico em Edifícios - RCCTE**. Lei n.º 80/2006, Diário da República 1.ª Série – A – N.º 67 (2006-04-04), pp. 2469-2513.



www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt www.lnec.pt