



Estudo da Otimização da Produção de uma Central de Ar Comprimido de Baixa Pressão

LEONARDO JOSÉ SANTOS DIAS

julho de 2020

ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

Leonardo José Santos Dias
1150598

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

Leonardo José Santos Dias
1150598

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Professora Engenheira Isabel Sarmento.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Especialista Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não seria possível a realização do mesmo.

Quero agradecer:

À minha orientadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Engenheira Isabel Sarmento, pela sua orientação, total apoio, disponibilidade e dedicação, pelas suas preciosas opiniões e por todo o material disponibilizado para a realização deste trabalho.

Ao meu supervisor do estágio, Engenheiro Orlando Couto, por toda a ajuda disponibilizada, pela quantidade e qualidade do conhecimento transmitido, pelo tempo dispensado e por todos os conselhos relativos à realidade empresarial.

À Engenheira Ana Paula Santos, responsável pelo departamento de Energias e Infraestruturas no qual realizei o estágio, pela oportunidade que me deu de realizar dois estágios muito importantes no meu percurso universitário.

Ao Senhor Mário Santos, pela ajuda fundamental na parte elétrica deste trabalho e por todas as conversas cheias de boa disposição (todos os dias do estágio).

À Engenheira Filipa Trigo, Senhor Joaquim Carneiro, Engenheira Cláudia Lopes e ao Daniel Santos, elementos da equipa do departamento de Energias e Infraestruturas que me acolheram com boa disposição e sempre prontos a ajudar (quase um ano e meio).

À Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A., pelo acolhimento e pela possibilidade de realização do estágio curricular dentro das suas portas. A todos os seus colaboradores que de qualquer forma me ajudaram durante a minha presença na empresa.

Ao Engenheiro Rui Pereira e ao Raúl Simões (técnico especialista em ar comprimido) da Atlas Copco, pela disponibilidade imediata que demonstram, por todo o conhecimento transmitido e pela incansável prontidão de resposta.

Aos técnicos Hélder Sousa e Carla Morais da empresa TradeLabor, pela disponibilidade demonstrada para a realização da auditoria à qualidade do ar comprimido de baixa pressão.

Aos meus pais, pela enorme ajuda ao longo da minha vida académica, pelos possíveis e impossíveis, pelo apoio nos momentos mais difíceis e por todo o acompanhamento sempre presente na minha vida.

À Diana, pela incansável ajuda na leitura exaustiva deste trabalho e pelo acompanhamento sempre próximo ao longo desta longa jornada. Por todas as conversas e desabafos nos momentos mais complicados desta caminhada.

Por fim, gostaria de agradecer à generalidade das pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto. Aos meus amigos e colegas de curso por todas as conversas, desabafos e momentos de descontração.

Obrigado a todos, por tudo.

PALAVRAS CHAVE

Ar comprimido, compressores, aproveitamento de calor, otimização, consumo de energia, custo da produção, eficiência energética

RESUMO

Os sistemas de ar comprimido são dos principais consumidores de energia elétrica na indústria europeia, sendo responsáveis por mais de 10% do consumo de eletricidade deste setor. Este projeto teve como principais objetivos identificar potenciais medidas de otimização energética do sistema de produção de ar comprimido de baixa pressão de uma indústria, a Continental Mabor.

A análise detalhada das necessidades em ar comprimido da fábrica e do perfil e regime de funcionamento dos compressores permitiu determinar os valores do consumo específico de energia elétrica e do custo atual da produção de ar comprimido de baixa pressão da fábrica, mas, também, o potencial de recuperação de calor associado aos compressores, para posterior utilização em processos fabris que requerem calor.

É apresentada uma proposta de solução para a otimização da produção do ar comprimido de baixa pressão, baseada num compressor velocidade variável, em compressores de carga contante (carga/vazio), em novos secadores e num recuperador de energia térmica, que permite, quer a redução do custo atual de produção, quer o aumento da capacidade de produção, em dois cenários distintos de consumo: atual e para um incremento de 20%.

No cenário atual de necessidades de ar comprimido de baixa pressão, é previsível que a proposta de solução permita reduzir em 3% o custo de produção, que, a custos atuais, resulta numa poupança expectável de 70.877 €/ano, ao que se associa a recuperação de energia térmica, que poderá resultar numa poupança energética adicional associada à produção de vapor até 68.556 €/ano, perfazendo uma poupança global de 139.433 €/ano. O investimento inicial global, que inclui a alteração ao *layout* da central, é estimado em 805.070 €, resultando num período de retorno do investimento de 5,9 anos. No entanto, excluindo, por obsolescência do equipamento, o investimento da substituição de um dos atuais compressores e dos secadores de ar, o período de retorno do investimento é, pouco mais, de 3 anos.

No cenário de incremento de 20% da capacidade de produção, é previsível reduzir em 16% o custo da produção do ar comprimido de baixa pressão, que, a custos atuais, resulta numa poupança expectável de 199.196 €/ano, ao que, igualmente, se associa a recuperação de energia térmica, que poderá resultar numa poupança energética adicional associada à produção de vapor até 70.454 €/ano, perfazendo uma poupança global de 269.651 €/ano.

KEYWORDS

Compressed air, air compressors, heat recovery, optimization, energy consumption, production costs, energetic efficiency

ABSTRACT

Compressed air systems are the main electrical energy users in the EU, being accountable for over 10% of this sector's electrical consumption. This project aims to identify possible measures to reduce electrical energy consumption used for low pressure compressed air production by the company Continental Mabor.

The detailed study of necessities surrounding compressed air and the profile and working methodology of air compressors allowed us to determine the parameters which impact the total energy consumption and associated annual costs, but also the possibility of reusing the by-product thermal energy created, for further used on other processes that require it.

We propose an improvement for optimizing the compressed air production procedure by using a variable speed compressor, in compressors of constant load (load/unload), in new dryers and a thermal energy recovery which allows both economical savings and an increase of production capacity, in 2 distinct scenarios of consumption: the current system and an increment of 20%.

In the current scenario, we predict that our proposal will save 3% of the associated costs, with an expected saving of 70.877 € yearly. To this we add the savings from reusing thermal energy, which will result in additional savings of 68.556 € yearly, for a total of 139.433 €. The initial cost of this change is expected to be 805.070 €, which results in a 5,9 years needed to observe a positive return on this investment. This does not take into account the current maintenance costs. By including them we expect a mere 3 years until we observe a positive return on investment.

On the 20% production capacity increase scenario, we predict a 16% reduction of production costs which, at current prices, will result in 199.196 € saved yearly. By again adding the additional savings from reusing thermal energy, we get an additional savings of 70.454 € yearly, for a total of 269.651 € yearly.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>
FSD	<i>Fixed Speed Drive</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
PDP	Ponto de Orvalho sobre Pressão
SAC	Sistema de Ar Comprimido
SEC	<i>Specific Electrical Consumption</i>
VSD	<i>Variable Speed Drive</i>

Lista de Unidades

Termo	Designação	Unidade
c_p	Calor específico a pressão constante	J/kg·K
c_v	Calor específico a volume constante	J/kg·K
m	Massa do gás	kg
M	Massa molar	kg/kmol
p	Pressão	Pa
Q_c	Compacidade com compressor	m ³ /s
Q_f	Caudal de fugas	m ³ /s
\bar{R}	Constante Universal dos gases	J/kg·K
R	Constante do gás	J/kg·K
t_t	Tempo total	s
t	Tempo	s
T	Temperatura absoluta	K
V	Volume	m ³

Lista de Símbolos

Termo	Designação
E_x	Energia elétrica consumida pela atividade x
P_x	Saída física produzida pela atividade x

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
KPI	Indicador de Eficiência Energética

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - FÁBRICAS DO GRUPO CONTINENTAL AG DA DIVISÃO DE PNEUS (CONTINENTAL, 2018)	31
FIGURA 1.2 - ANTIGA E ATUAL INFRAESTRUTURA DA CONTINENTAL MABOR (CONTINENTAL MABOR, 2018)	32
FIGURA 1.3 - ORGANIGRAMA GERAL DA CONTINENTAL MABOR S.A. (CONTINENTAL MABOR, 2018)	32
FIGURA 2.1 – TIPOS DE COMPRESSORES (ADENE, 2017)	39
FIGURA 2.2 – ILUSTRAÇÃO DO PROCESSO DE COMPRESSÃO DINÂMICA (NOVAIS, 1995)	39
FIGURA 2.3 – SECÇÃO TRANSVERSAL DE UM COMPRESSOR CENTRÍFUGO (ATLAS COPCO, 1976)	40
FIGURA 2.4 - SECÇÃO TRANSVERSAL DE UM COMPRESSOR AXIAL (ATLAS COPCO, 1976)	41
FIGURA 2.5 – COMPRESSOR DE SIMPLES EFEITO (ESQUERDA; NOVAIS, 1995) E COMPRESSOR DE DUPLO EFEITO (DIREITA; NOVAIS, 1995)	42
FIGURA 2.6 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM COMPRESSOR DE PARAFUSO (ATLAS COPCO, 1976)	43
FIGURA 2.7 – DIAGRAMA PRESSÃO-VOLUME IDEAL DE FUNCIONAMENTO DE UM COMPRESSOR DE PARAFUSO (WENNEMAR, 2009)	43
FIGURA 2.8 – DIAGRAMA ILUSTRATIVO DO PRINCÍPIO DE SECAGEM POR REFRIGERAÇÃO (ADENE, 2017)	49
FIGURA 2.9 - ESQUEMA SIMPLIFICADO CICLO DE CARNOT (ESQUERDA; ÇENGEL & BOLES, 2004); DIAGRAMA T-S DO CICLO DE CARNOT (DIREITA; ÇENGEL & BOLES, 2004)	50
FIGURA 2.10 – DIAGRAMA T-S DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE VAPOR IDEAL (ÇENGEL & BOLES, 2004).	50
FIGURA 2.11 – CLASSIFICAÇÃO DAS TORRES DE ARREFECIMENTO QUANTO AO TIPO DE TIRAGEM (FACÃO, 1999)	54
FIGURA 2.12 – CLASSIFICAÇÃO DAS TORRES DE ARREFECIMENTO QUANTO AO TIPO DE CONTACTO (FACÃO, 1999)	55
FIGURA 2.13 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO NA UNIÃO EUROPEIA (RADGEN, 2006)	60
FIGURA 2.14 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO EM PAÍSES SELECIONADOS; AZUL (FLEITER E EICHHAMMER, 2012); VERMELHO (UNGER & RADGEN , 2018)	61
FIGURA 2.15 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO, POR SETOR, NA ALEMANHA (WÜNSCH ET AL., 2012)	61
FIGURA 2.16 - CUSTOS DO CICLO DE VIDA DE UM COMPRESSOR (ADENE, 2017)	64
FIGURA 2.17 – ILUSTRAÇÃO DO CONTROLO DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO (MOUSAVI, KARA & KORNFELD, 2014)	66
FIGURA 2.18 – COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE COMPRESSORES VSD E FSD (MOUSAVI, KARA & KORNFELD, 2014)	66
FIGURA 2.19 - CAUDAL DE FUGAS COM BASE NA PRESSÃO DO AR COMPRIMIDO E NO DIÂMETRO DO ORIFÍCIO (ADENE, 2017)	68
FIGURA 2.20 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA (ADENE, 2017)	71

FIGURA 3.1 - ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA INSTALAÇÃO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	77
FIGURA 3.2 – ATLAS COPCO ZR5-53	78
FIGURA 3.3 - ATLAS COPCO ZR315 VSD	78
FIGURA 3.4 – INGERSOLL RAND CENTAC C950 (INGERSOLL 1/INGERSOLL 2; INGERSOLL RAND, 2006)	79
FIGURA 3.5 – SECADOR INGERSOLL RAND D22800IN-W (INGERSOLL 1/INGERSOLL 2; INGERSOLL RAND, 2008)	80
FIGURA 3.6 – SECADOR ATLAS COPCO FD1600	80
FIGURA 3.7 - ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA INSTALAÇÃO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 2	81
FIGURA 3.8 – ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA INSTALAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	82
FIGURA 3.9 – ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA INSTALAÇÃO DO FORNECIMENTO DE ÁGUA PARA A CALDEIRA	83
FIGURA 4.1 – ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	92
FIGURA 4.2 - ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 2	92
FIGURA 4.3 - CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DO MÊS DE MAIO DE 2017 (CENTRAL DE PRODUÇÃO 1)	94
FIGURA 4.4 – CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DO MÊS DE JANEIRO DE 2017 (CENTRAL DE PRODUÇÃO 2)	95
FIGURA 4.5 - CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DO MÊS DE JUNHO DE 2017 (CENTRAL DE PRODUÇÃO 1)	96
FIGURA 4.6 – CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DO MÊS DE JUNHO DE 2017 (CENTRAL DE PRODUÇÃO 2)	97
FIGURA 4.7 - PERFIL DE CONSUMOS DO ANO DE 2017 DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO (CENTRAL DE PRODUÇÃO 1)	99
FIGURA 4.8 - PERFIL DE CONSUMOS DO ANO DE 2017 DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO (CENTRAL DE PRODUÇÃO 2)	99
FIGURA 4.9 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NAS TROCAS DE TURNO DE MAIO DE 2017 (CENTRAL 1)	100
FIGURA 4.10 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NAS TROCAS DE TURNO DE JANEIRO DE 2017 (CENTRAL 2)	101
FIGURA 4.11 – CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DURANTE AS HORAS DE ALMOÇO NO MÊS DE SETEMBRO DE 2017	102
FIGURA 4.12 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DURANTE A PARAGEM DE PRODUÇÃO DO NATAL DE 2017 (CENTRAL DE PRODUÇÃO 1)	103
FIGURA 4.13 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DURANTE A PARAGEM DE PRODUÇÃO DO NATAL DE 2017 (CENTRAL DE PRODUÇÃO 2)	104
FIGURA 4.14 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NA MISTURAÇÃO E CONSTRUÇÃO EM 2017	105
FIGURA 4.15 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NA VULCANIZAÇÃO EM 2017	106
FIGURA 4.16 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NA LIMPEZA DE MOLDES EM 2017	107

FIGURA 4.17 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NA INSPEÇÃO FINAL 1 EM 2017	107
FIGURA 4.18 - PERFIL DE CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NO AGRO 2018	108
FIGURA 4.19 – PERCENTAGEM DOS CONSUMOS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DAS VÁRIAS FASES DO FABRICO DOS PNEUS	109
FIGURA 4.20 - PERFIL DA PRESSÃO DE FORNECIMENTO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DA CENTRAL 1 EM 2017	109
FIGURA 4.21 - PERFIL DA PRESSÃO DE FORNECIMENTO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DA CENTRAL 2 EM 2017	110
FIGURA 4.22 – PERFIL DE FUNCIONAMENTO MÉDIO MENSAL DOS EQUIPAMENTOS PRESENTES NA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	114
FIGURA 4.23 - PERFIL DE FUNCIONAMENTO MÉDIO MENSAL DOS EQUIPAMENTOS PRESENTES NA CENTRAL DE PRODUÇÃO 2	115
FIGURA 4.24 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO TOTAL ENERGIA ELÉTRICA REFERENTE À PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DO ANO DE 2018	116
FIGURA 4.25 – RESULTADO DAS MEDIÇÕES REALIZADAS A CADA COMPRESSOR (FONTE: ATLAS COPCO)	117
FIGURA 4.26 – PERFIL DE FUNCIONAMENTO DOS COMPRESSORES DURANTE UMA TROCA DE TURNO (FONTE: ATLAS COPCO)	118
FIGURA 5.1 – ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	125
FIGURA 5.2 - ESQUEMA DE PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 2	126
FIGURA 5.3 – PRODUÇÃO E CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉTRICA DO AR COMPRIMIDO DA CENTRAL 1 EM 2018	129
FIGURA 5.4 - PRODUÇÃO E CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉTRICA DO AR COMPRIMIDO DA CENTRAL 2 EM 2018	130
FIGURA 5.5 - CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉTRICA DA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO GLOBAL EM 2018	131
FIGURA 5.6 – PERFIL DO CONSUMO E DA PRESSÃO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	140
FIGURA 5.7 – <i>LAYOUT</i> ATUAL DA CENTRAL DE PRODUÇÃO 1	141
FIGURA 5.8 – PROPOSTA DE <i>LAYOUT</i> 1 PARA A PRIMEIRA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	142
FIGURA 5.9 - PROPOSTA DE <i>LAYOUT</i> 1 PARA A SEGUNDA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	143
FIGURA 5.10 - PROPOSTA DE <i>LAYOUT</i> 2 PARA A PRIMEIRA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	144
FIGURA 5.11 - PROPOSTA DE <i>LAYOUT</i> 2 PARA A SEGUNDA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	145
FIGURA 5.12 – LOCALIZAÇÃO DO RECUPERADOR DE ENERGIA NA INSTALAÇÃO EXISTENTE	146

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – CLASSES DE PUREZA DO AR (ISO 8573-1: 2010)	47
TABELA 2.2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA RECOMENDADA (EVAPCO, 2008)	58
TABELA 2.3 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE COMPRESSORES E AR (SUSTAINABILITY VICTORIA, 2009; PROCESS INDUSTRY PRACTICES, 2013)	65
TABELA 3.1 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO COMPRESSOR ATLAS COPCO ZR5-53	78
TABELA 3.2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO COMPRESSOR ATLAS COPCO ZR315 VSD	78
TABELA 3.3 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO COMPRESSOR INGERSOLL 1/INGERSOLL 2	79
TABELA 3.4 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SECADOR INGERSOLL 1	80
TABELA 3.5 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SECADOR ATLAS COPCO FD1600	80
TABELA 3.6 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SECADOR INGERSOLL 2	81
TABELA 3.7 – TIPOS DE DADOS ANALISADOS REFERENTES AO ESTUDO DA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO	84
TABELA 3.8 – EQUIPAMENTOS DE MEDIDA	86
TABELA 4.1 – CONSUMOS MENSIS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO (CENTRAL 1)	97
TABELA 4.2 - CONSUMOS MENSIS DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO (CENTRAL 2)	98
TABELA 4.3 – RESULTADOS DA AUDITORIA À QUALIDADE DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO	111
TABELA 4.4 – PERDAS DE CARGA ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DA CENTRAL 1	112
TABELA 4.5 - PERDAS DE CARGA ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DA CENTRAL 2	112
TABELA 4.6 – SÍNTESE DOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS	119
TABELA 5.1 – VALORES DE FUNCIONAMENTO DOS COMPRESSORES DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO	126
TABELA 5.2 - VALORES DE FUNCIONAMENTO DOS SECADORES DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO	127
TABELA 5.3 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉTRICA GLOBAL	131
TABELA 5.4 - CUSTO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NOS COMPRESSORES	132
TABELA 5.5 – CUSTO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO NOS SECADORES DE AR	132
TABELA 5.6 – CUSTO GLOBAL DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO	133
TABELA 5.7 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS COMPRESSORES LUBRIFICADOS A ÓLEO	134
TABELA 5.8 – ESTIMATIVA ORÇAMENTAL RESUMIDA PARA PROPOSTA DE SOLUÇÃO DOS COMPRESSORES ISENTOS DE ÓLEO	136
TABELA 5.9 – ESTIMATIVA ORÇAMENTAL RESUMIDA PARA PROPOSTA DE SOLUÇÃO DOS COMPRESSORES LUBRIFICADOS A ÓLEO	136
TABELA 5.10 – INFORMAÇÃO SOBRE O FLUIDO FRIGORIGÊNICO CONTIDO NOS SECADORES DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO	137
TABELA 5.11 – ESTIMATIVA ORÇAMENTAL PARA PROPOSTA DE SOLUÇÃO DOS SECADORES DE AR	138
TABELA 5.12 – COMPORTAMENTO DAS CENTRAIS DE PRODUÇÃO NA FASE 1	138

TABELA 5.13 – COMPORTAMENTO DAS CENTRAIS DE PRODUÇÃO NA FASE 2	139
TABELA 5.14 – CUSTOS ASSOCIADOS À PROPOSTA DE <i>LAYOUT</i> 1 PARA A PRIMEIRA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	142
TABELA 5.15 – CUSTOS ASSOCIADOS À PROPOSTA DE <i>LAYOUT</i> 2 PARA A PRIMEIRA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	144
TABELA 5.16 – ENERGIA DISPONÍVEL PARA A RECUPERAÇÃO DE CALOR DOS COMPRESSORES ZR500VSD E ZR355	146
TABELA 5.17 – POUPANÇA ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO.	147
TABELA 5.18 – POUPANÇA ANUAL NO CUSTO DE PRODUÇÃO DE VAPOR	147
TABELA 5.19 – INVESTIMENTO, POUPANÇA ANUAL E RETORNO DO INVESTIMENTO DA PRIMEIRA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	148
TABELA 5.20 – INVESTIMENTO E POUPANÇA ANUAL DA SEGUNDA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	149
TABELA 5.21 – RESUMO DAS MELHORIAS ALCANÇADAS COM A IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO	149
TABELA 5.22 – RESUMO DAS POUPANÇAS E INVESTIMENTOS FINAIS DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO	150
TABELA 6.1 – ESTIMATIVA DAS POUPANÇAS ALCANÇADAS COM A MELHORIA DA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO DE CONTISEAL	153

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Âmbito do trabalho	29
1.2	Estrutura do trabalho	29
1.3	Objetivos	29
1.4	Plano temporal.....	30
1.5	Apresentação da entidade acolhedora	30
1.5.1	Continental AG	31
1.5.2	Continental Mabor – Indústria de pneus S.A.	31
1.5.3	Estrutura Organizacional da Empresa	32
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Ar Comprimido	35
2.1.1	Conceitos físicos	35
2.1.2	Sistema de Ar Comprimido.....	37
2.2	Produção de Ar Comprimido.....	38
2.2.1	Compressores	38
2.2.1.1	Compressores Dinâmicos.....	39
2.2.1.2	Compressores Volumétricos	41
2.2.1.3	Sistema de Controlo do Compressor	44
2.3	Tratamento do Ar Comprimido.....	46
2.3.1	Qualidade do Ar Comprimido.....	47
2.3.2	Secagem do Ar Comprimido	48
2.3.2.1	Secagem por Refrigeração	48
2.3.2.2	Secagem por Adsorção	52
2.3.3	Filtração do Ar Comprimido	52
2.4	Armazenamento do Ar Comprimido	53
2.5	Arrefecimento do Sistema de Produção e Tratamento de Ar Comprimido	54
2.5.1	Torres de Arrefecimento	54
2.6	Manutenção Industrial.....	56
2.6.1	Manutenção dos Compressores.....	56
2.6.2	Manutenção dos Secadores de ar	57
2.6.3	Manutenção das Torres de Arrefecimento	58

2.7	A Energia num Sistema de Ar Comprimido	59
2.7.1	Consumos de Energia Elétrica associados a um SAC	60
2.7.2	Indicadores de Eficiência Energética	61
2.7.2.1	Consumo Específico de Energia Elétrica	62
2.7.3	Sistema de Ar Comprimido Energeticamente Eficiente	63
2.7.4	Fatores que Influenciam o Consumo Específico de Energia Elétrica num SAC	64
2.7.4.1	Seleção dos Compressores	64
2.7.4.2	Pressão.....	66
2.7.4.3	Seleção dos Secadores	67
2.7.4.4	Rede de Distribuição	68
2.7.4.5	Recuperação de Energia Térmica.....	70
3	METODOLOGIA.....	75
3.1	Definição do problema.....	75
3.2	Caracterização das instalações	76
3.2.1	Instalação da produção de ar comprimido de baixa pressão	76
3.2.2	Instalação da rede de refrigeração dos equipamentos da produção de ar comprimido	81
3.2.3	Instalação da rede de água de <i>make-up</i> das caldeiras	83
3.3	Descrição da metodologia de análise	83
3.3.1	Equipamentos de medida.....	86
4	DESENVOLVIMENTO	91
4.1	Caracterização e análise das necessidades de ar comprimido de baixa pressão	91
4.1.1	Consumos diários mensais	93
4.1.2	Trocas de turno, período de almoço, paragens de produção	99
4.1.3	Consumos de ar comprimido nas várias fases de produção dos pneus	105
4.2	Pressão de fornecimento do ar comprimido de baixa pressão	109
4.3	Qualidade do ar comprimido de baixa pressão	110
4.4	Perdas de carga na produção de ar comprimido de baixa pressão	111
4.5	Fugas de ar na rede de ar comprimido de baixa pressão	113
4.6	Análise do perfil de funcionamento dos compressores.....	113
4.7	Identificação das propostas de solução	119
4.7.1	Otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão	119
4.7.2	Potencial recuperação de energia térmica.....	120

5	RESULTADOS	125
5.1	Determinação do consumo específico de energia elétrica da produção de ar comprimido de baixa pressão	125
5.1.1	Compressores	126
5.1.2	Secadores de ar	127
5.1.3	Consumo específico de energia elétrica total	128
5.2	Determinação do custo da produção de ar comprimido de baixa pressão	132
5.2.1	Compressores	132
5.2.2	Secadores de ar	132
5.2.3	Custo total do ar comprimido de baixa pressão.....	133
5.3	Medidas para a otimização energética da produção de ar comprimido de baixa pressão 133	
5.3.1	Substituição dos compressores	134
5.3.2	Substituição dos secadores	137
5.3.3	Estimativa de poupança energética da medida de substituição	138
5.3.4	<i>Layout</i> da nova central de produção de ar comprimido de baixa pressão	140
5.4	Recuperação de Energia Térmica.....	145
5.5	Análise de investimento à otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão 147	
5.6	Síntese dos resultados	149
6	TRABALHO COMPLEMENTAR.....	153
6.1	Proposta de melhoria da central de ar comprimido do ContiSeal.....	153
7	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	157
7.1	Conclusões	157
7.2	Propostas de trabalhos futuros.....	159
8	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	163
9	ANEXOS.....	171
9.1	Anexo 1 – Distribuição de horas diárias do estágio	
9.2	Anexo 2 – <i>Datasheet</i> dos equipamentos de medida	

-
- 9.3 Anexo 3 – Consumos diários mensais de ar comprimido de baixa pressão (Central de produção 1)
- 9.4 Anexo 4 - Consumos diários mensais de ar comprimido de baixa pressão (Central de produção 2)
- 9.5 Anexo 5 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as trocas de turno (Central de produção 1)
- 9.6 Anexo 6 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão (Período de almoço)
- 9.7 Anexo 7 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as paragens de produção (Central de produção 1)
- 9.8 Anexo 8 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as paragens de produção (Central de produção 2)
- 9.9 Anexo 9 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão dos vários setores de fábrica ..
- 9.10 Anexo 10 – Resultados da auditoria à qualidade do ar comprimido de baixa pressão e certificados de calibração dos aparelhos de medida
- 9.11 Anexo 11 – Estimativa orçamental dos compressores isentos de óleo e respetivo *datasheet*
- 9.12 Anexo 12 – Estimativa orçamental dos compressores lubrificados a óleo e respetivo *datasheet*
- 9.13 Anexo 13 – Estimativa orçamental e *datasheet* do secador de ar
- 9.14 Anexo 14 - Mapa de trabalhos e quantidades e estimativa orçamental da proposta de *layout 1*
- 9.15 Anexo 15 - Mapa de trabalhos e quantidades e estimativa orçamental da proposta de *layout 2*

INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO DO TRABALHO

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

1.3 OBJETIVOS

1.4 PLANO TEMPORAL

1.5 APRESENTAÇÃO DA ENTIDADE ACOLHEDORA

1 INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito do trabalho

O presente projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Projeto/Estágio, lecionada no segundo semestre do segundo ano do Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, com vista à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

O projeto foi realizado em ambiente empresarial, na Continental Mabor-Indústria de Pneus, S.A. e teve início no dia 17 de setembro de 2018 e término no dia 7 de junho de 2019.

1.2 Estrutura do trabalho

Inicialmente é apresentado o problema proposto assim como os objetivos gerais do estágio. Em seguida, é feito um enquadramento do trabalho e apresentada a metodologia utilizada para alcançar os resultados para o problema. Por fim, constam as propostas de solução e uma análise complementar realizada à produção de ar comprimido do ContiSeal, assim como uma reflexão crítica relativa à experiência no local de estágio, na qual constam as dificuldades e os resultados alcançados.

A bibliografia é elaborada segundo a norma APA. Os dados e registos fotográficos presentes neste relatório foram autorizados por parte da entidade acolhedora, para os fins solicitados.

1.3 Objetivos

O objetivo global deste projeto consiste na identificação de medidas que levem a uma melhoria da eficiência energética da central de produção de ar comprimido de baixa pressão e conseqüente redução do consumo de energia elétrica utilizada, o que se traduzirá numa redução do custo financeiro da sua produção. Complementarmente, é proposta a análise do potencial de recuperação de energia térmica libertada no processo de compressão do ar, para o pré-aquecimento de água utilizada para as caldeiras de produção de vapor, reduzindo as necessidades energéticas deste processo

e permitindo minimizar a dissipação de calor excedentário por recurso às torres de refrigeração.

Para a concretização do objetivo global, definem-se os seguintes objetivos específicos: realizar uma avaliação dos consumos de ar comprimido de baixa pressão, de forma a otimizar a sua central de produção e melhorar o rendimento dos equipamentos, estudando, posteriormente, soluções para o efeito; estudar o perfil de funcionamento dos atuais compressores; realizar, a pedido das entidades supervisoras, um levantamento e uma análise das necessidades dos utilizadores de ar de baixa pressão durante períodos específicos; estudo do *layout* da sala das máquinas de produção de ar comprimido; avaliar o potencial térmico dos compressores de baixa pressão, por forma a aproveitar o calor para o aquecimento de água de outros processos. Em acréscimo, define-se como objetivo complementar a avaliação do potencial de melhoria da central de produção de ar comprimido do ContiSeal.

É de salientar que, no decorrer deste documento, é utilizada a nomenclatura utilizada na empresa “Ar comprimido de baixa pressão” e “Ar comprimido de alta pressão”, com pressões de operação de 6 bar e 10 bar, respetivamente.

Desta forma, no final do estágio, esperam-se os seguintes resultados: determinação do consumo específico de energia elétrica e respetivo custo da produção de ar comprimido de baixa pressão; proposta de solução para a otimização da eficiência energética da produção de ar comprimido; determinação do *layout* otimizado da nova central de produção de ar comprimido de baixa pressão; proposta de solução para o aproveitamento da energia térmica produzida pela compressão do ar; proposta de melhoria da central de ar comprimido do ContiSeal.

1.4 Plano temporal

O estágio decorreu durante um período de aproximadamente nove meses (entre 17 de setembro de 2018 e 7 de junho de 2019), na empresa Continental Mabor, em Lousado. Nesse período, houve uma presença semanal na empresa (segunda a sexta-feira), perfazendo um total de 1.028 horas de contacto presencial. No Anexo 1 encontra-se a distribuição de horas diárias do estágio na empresa. Em acréscimo, a este período de contato presencial na empresa, verifica-se um contacto frequente com a docente orientadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

1.5 Apresentação da entidade acolhedora

Ao longo deste subcapítulo faz-se uma pequena apresentação e descrição do grupo Continental AG e da empresa na qual foi realizada esta dissertação, a Continental Mabor

– Indústria de Pneus S.A.. Por último, é também apresentado um organigrama resumido da entidade acolhedora.

1.5.1 Continental AG

A Continental AG foi fundada em Hannover, Alemanha, em outubro de 1871. Entre 1901 e 1930, deu-se a fusão das maiores empresas da indústria de borracha alemãs, a Continental Gummi e a Werke AG. De 1961 a 1990, as áreas de negócio expandiram-se pela Europa e pelos Estados Unidos, com a aquisição de empresas e acordos de parceria. Finalmente, entre 1991 e 2018, a Continental AG tornou-se um fornecedor global de pneus, ou seja, uma das cinco maiores fornecedoras mundiais da indústria automóvel.

Atualmente, o grupo Continental tem 427 localizações distribuídas por 56 países. Dados de 2017 sugerem que a produção de pneus ocupa cerca de 26% do volume de negócios do grupo, com vendas de € 40.5 mil milhões (para 100% do seu volume de negócio). Para além dos pneus, a Continental AG está ainda dividida em produtos para o habitáculo de veículos automóveis (21%), *Chassis & Safety* (21%), *Powertrain* (18%) e *ContiTech* (14%). Por fim, existem 75 fábricas da divisão de pneus espalhadas por 47 países (5 continentes; figura 1.1).

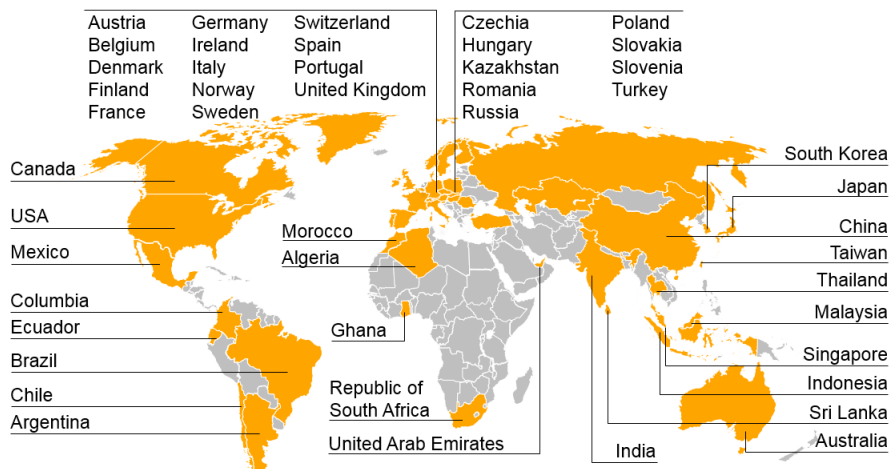


Figura 1.1 - Fábricas do grupo Continental AG da divisão de pneus (Continental, 2018)

1.5.2 Continental Mabor – Indústria de pneus S.A.

A Continental Mabor – Indústria de pneus S.A. surgiu em dezembro de 1989, como uma empresa ligada à indústria de pneus. Este nome nasce da fusão entre duas empresas de renome na manufatura de borracha e fabrico de pneus, a Mabor, uma empresa nacional, e a Continental AG, uma empresa multinacional. A Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, S.A., iniciou a produção em 1946, sob a posição de ser a primeira produtora de pneus a nível nacional. Em 1990, iniciou-se um programa de reestruturação, no qual as instalações da antiga Mabor se tornaram nas mais modernas fábricas do grupo da época (Continental Mabor, 2018).

A empresa partiu de uma produção média de 5.000 pneus/dia, em 1990, para uma produção atual de 48.000 pneus/dia, mais de nove vezes superior. É de referir que cerca de 98% da sua produção destina-se à exportação.

A Continental Mabor tem uma superfície total de 236.492 m² e uma superfície coberta de cerca de 107.848 m², contando com um total de aproximadamente 2.062 colaboradores. Na figura 1.2 é possível visualizar as instalações da antiga e atual infraestrutura da empresa.



Figura 1.2 - Antiga e atual infraestrutura da Continental Mabor (Continental Mabor, 2018)

1.5.3 Estrutura Organizacional da Empresa

A Continental Mabor S.A. tem como visão ser **LIDER** (Lousado eficiente, Inova e antecipa as necessidades dos clientes, **Desenvolve** produtos de alta tecnologia, **Excelente** no conhecimento e nos processos e **Rentável** de forma sustentada). A sua missão é ser uma empresa responsável, líder e parceira de eleição. Desenvolver, produzir e comercializar soluções tecnológicas indispensáveis, manter elevados padrões de qualidade e tornar a mobilidade e o transporte mais sustentáveis, seguros, confortáveis, personalizados e acessíveis fazem também parte da missão da empresa.

Na figura 1.3 é possível visualizar o organigrama geral da empresa. O estagiário inseriu-se no Departamento de Engenharia (Eng. Rui Nunes), mais propriamente no Departamento de Energias e Infraestruturas (Eng. Ana Paula Santos).

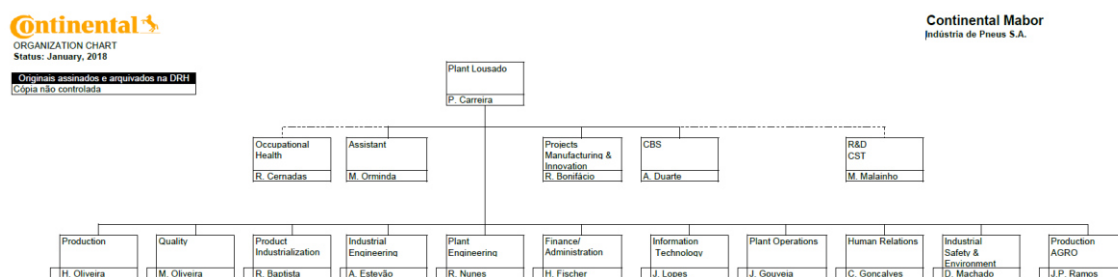


Figura 1.3 - Organigrama geral da Continental Mabor S.A. (Continental Mabor, 2018)

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AR COMPRIMIDO

2.2 PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO

2.3 TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO

2.4 ARMAZENAMENTO DO AR COMPRIMIDO

2.5 ARREFECIMENTO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E
TRATAMENTO DE AR COMPRIMIDO

2.6 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

2.7 A ENERGIA NUM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo compreende o enquadramento científico do trabalho realizado, sendo abordados os seguintes temas: o ar comprimido, os principais equipamentos e componentes do sistema de produção de ar comprimido e os principais fatores que afetam o consumo específico de energia elétrica do sistema.

2.1 Ar Comprimido

Atualmente, o ar comprimido é um elemento fundamental para o funcionamento da indústria mundial. Este, fornece os requisitos necessários para o processo de operação de ferramentas e equipamentos pneumáticos, atendendo às necessidades da sua instrumentação e controlo (Mousavi, Kara, & Kornfeld, 2014). A utilização do ar comprimido é transversal a toda a indústria, devido à sua segurança, versatilidade e produtividade (Adene, 2017). Embora o ar exista em abundância na natureza, o ar comprimido é uma fonte de energia muito dispendiosa e responsável por uma grande parte do consumo mundial de energia elétrica (Radgen, 2006).

2.1.1 Conceitos físicos

O ar é um gás incolor, inodoro e insípido, tratando-se de uma mistura de vários gases (cerca de 78% de Nitrogénio, 21% de Oxigénio, 1% de Árgon e <1% de Dióxido de Carbono). A composição do ar permanece relativamente constante desde o nível do mar até uma altitude aproximada de 20 km (Atlas Copco, 1976).

Para além da mistura de gases existentes no ar, este contém também uma mistura de partículas sólidas, tais como poeira, areia, fuligem e cristais de sais. Estas partículas influenciam bastante a qualidade do ar comprimido (Atlas Copco, 1976).

Para a elaboração do trabalho cujos objetivos foram apresentados anteriormente, torna-se também necessário conhecer o comportamento dos gases perfeitos (ou misturas destes, o ar). Para isso, são apresentadas oito leis essenciais que regem os gases perfeitos (Atlas Copco, 1976):

1. A lei de Boyle estabelece que a uma temperatura constante, o volume do gás é inversamente proporcional à pressão do gás (equação 2.1).

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \text{ ou } p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2.1)$$

2. A lei de Charles refere que o volume de um gás, a uma pressão constante, é diretamente proporcional à temperatura absoluta (equação 2.2).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ ou } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2.2)$$

3. A lei de Gay-Lussac estabelece que a pressão de um gás, a um volume constante, varia em proporção direta com a temperatura absoluta (equação 2.3).

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ ou } \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1} \quad (2.3)$$

4. A lei de Dalton menciona que a pressão total de uma mistura de gases é igual à soma das pressões parciais de cada um dos seus constituintes. A pressão parcial é a pressão que cada gás exerce se, só ele, ocupar o volume ocupado pela mistura (equação 2.4).

$$p = \sum_{i=1}^n p_i \quad (2.4)$$

5. A lei de Amagat aborda que o volume de uma mistura de gases é igual à soma dos volumes parciais que cada constituinte ocupa, se cada um estiver à pressão total da mistura.
6. A lei de Avogadro menciona que gases sob as mesmas condições de pressão e temperatura, contêm volumes iguais e o mesmo número de moléculas.
7. A lei de Poisson refere que para um processo sem nenhuma troca de calor com o ambiente, a relação entre pressão e volume rege-se pela equação 2.5.

$$p_1 \cdot V_1^{\frac{c_p}{c_v}} = p_2 \cdot V_2^{\frac{c_p}{c_v}} \quad (2.5)$$

8. Por fim, combinando a lei de Boyle e a lei de Charles e adicionando a lei de Avogadro, encontra-se a lei geral dos gases (equação 2.6)

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (2.6)$$

Com $R = \frac{\bar{R}}{M}$

Onde: p é a pressão absoluta em Pa;

V é o volume em m^3 ;

m é a massa do gás em kg;

\bar{R} é a constante universal dos gases em J/(kg·K);

T é a temperatura absoluta em K;

R é a constante do gás em J/(kg·K);

M é a massa molecular em kg/kmol.

Todos os gases apresentam um certo grau de variação em relação à lei geral dos gases. Estas variações aumentam com a densidade do gás e com a proximidade do estado líquido. A compressibilidade deriva, experimentalmente, dos dados do comportamento físico de um gás sob as mudanças de pressão, volume e temperatura. Assim, usa-se um multiplicador, chamado de fator de compressibilidade, para definir os diferentes comportamentos dos gases, recorrendo-se, para a sua determinação, a gráficos individuais ou genéricos (Atlas Copco, 1976). Em muitos casos, é necessário ter em consideração estas variações nos cálculos de projetos de compressores

2.1.2 Sistema de Ar Comprimido

Define-se como Sistema de Ar Comprimido (SAC) o conjunto de equipamentos/máquinas, que garantem o fornecimento adequado de ar comprimido, para um determinado fim específico (Adene, 2017).

Um SAC pode ser dividido em quatro grandes grupos: produção, tratamento, distribuição e controlo.

No que concerne à produção, esta é realizada pelos compressores que convertem a energia elétrica em energia mecânica, utilizada para comprimir o fluido de trabalho (ar). O tratamento do ar comprimido garante a qualidade necessária requerida pelos dispositivos de utilização final. A rede de distribuição é responsável pelo transporte do ar comprimido, interligando o sistema de produção e tratamento, com os equipamentos de utilização final. Por último, o sistema de controlo tem como função regular a produção de ar comprimido, adaptando-a à necessidade do utilizador final (Adene, 2017).

Um sistema típico de ar comprimido é composto por vários componentes, tais como, compressores de ar (produção); secadores de ar e filtros (tratamento); torres de arrefecimento (refrigeração); válvulas e sistemas de tubagem (distribuição); controladores (controlo). Todos estes componentes representam uma potencial perda de energia em forma de caudal ou pressão no sistema (Mousavi, Kara, & Kornfeld, 2014).

É de salientar, que este documento dedica-se apenas ao estudo da central de produção de ar comprimido, sendo a rede de distribuição apenas abordada superficialmente.

2.2 Produção de Ar Comprimido

A produção do ar comprimido é realizada pelos compressores, sendo estes acionados por motores elétricos. Esta compressão tem como objetivo debitar o ar a uma pressão superior à encontrada na sua forma original (pressão atmosférica; Novais, 1995).

O ar comprimido pode atingir pressões e caudais baixos ou elevados (de alguns metros cúbicos por hora, até milhares de metros cúbicos por minuto). Estas diferentes hipóteses dependem da capacidade, da potência e do tipo de máquina a selecionar, tendo em conta os objetivos que se pretendem atingir (Novais, 1995).

2.2.1 Compressores

O compressor é o principal equipamento para a produção de ar comprimido. Este tem como função aumentar a pressão do ar atmosférico, com a finalidade de alimentar máquinas que utilizam esta fonte de energia para a realização do seu trabalho normativo. Deste processo de compressão, resulta um aumento da sua temperatura que, por um lado, é libertada para o ambiente ou, por outro, para o fluído refrigerante, normalmente água (Atlas Copco Airpower NV, 2015). Assim, podemos afirmar que os processos de compressão são politrópicos, o que significa que a temperatura aumenta à medida que a compressão também aumenta (Atlas Copco, 1976).

Os compressores podem ser divididos em dois grandes grupos: os compressores dinâmicos (com fluxo contínuo) e os compressores volumétricos (com deslocamento positivo, fluxo intermitente; Novais, 1995). No primeiro, o aumento de pressão é obtido quando se coloca um volume de gás num espaço fechado onde, posteriormente, o volume é reduzido através de uma ação mecânica. Por outro lado, num compressor dinâmico, o aumento de pressão é obtido através da conversão de energia cinética em pressão, no difusor (Atlas Copco, 1976).

Os tipos mais comuns de compressores são representados na figura 2.1.

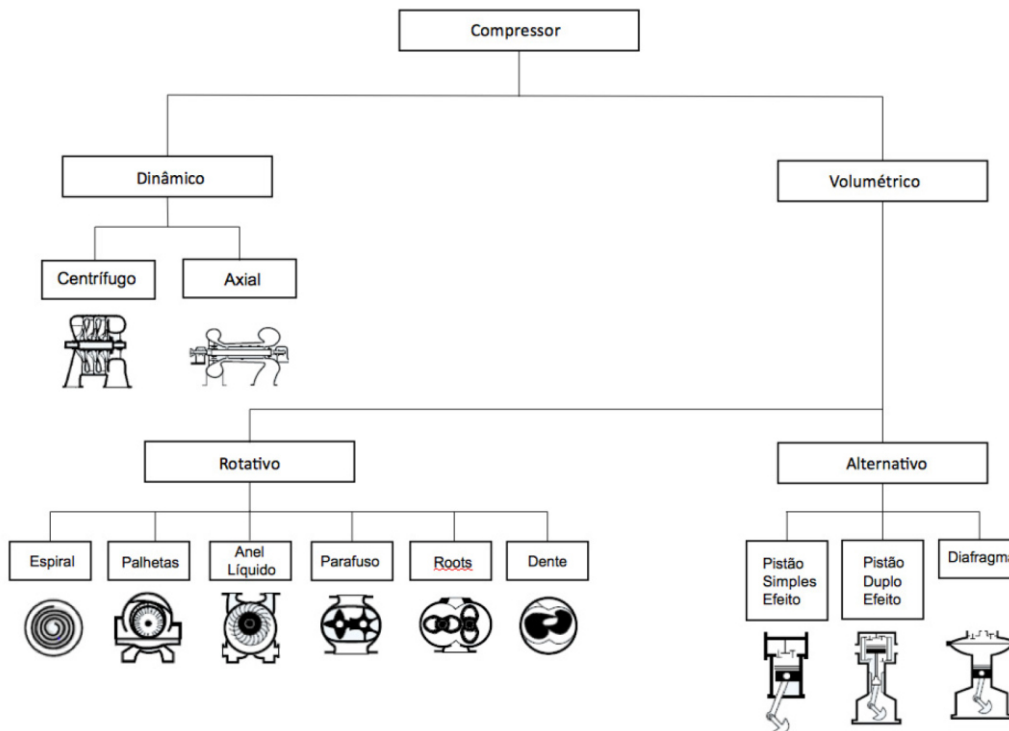


Figura 2.1 – Tipos de compressores (Adene, 2017)

No subcapítulo 2.7.4.1 são abordadas de uma forma mais aprofundada as vantagens e desvantagens da utilização de cada tipo de compressor.

2.2.1.1 Compressores Dinâmicos

Como já foi referido anteriormente, os compressores dinâmicos comprimem o ar através da utilização da velocidade rotacional, isto é, a compressão é obtida através da conversão da energia cinética em pressão. A massa é acelerada a alta velocidade num impulsor e, logo de seguida, forçada a desacelerar, ao ser expandida do difusor. Esta expansão, converte assim, a energia cinética em pressão (Helvoirt, 2007; Adene, 2017).

A figura 2.2 exemplifica, de uma forma simples, o processo acima referido. É demonstrado que num compressor dinâmico, o fluxo atmosférico é acelerado à entrada das pás, sendo a secção de saída das mesmas superior à secção de entrada.

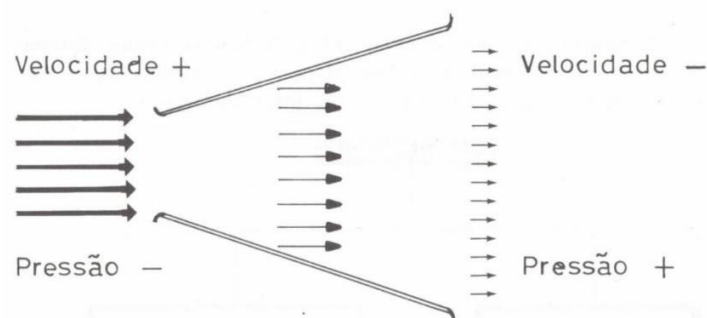


Figura 2.2 – Ilustração do processo de compressão dinâmica (Novais, 1995)

- Compressores Radiais (Centrífugos)

Os compressores centrífugos caracterizam-se pelo processo de compressão que ocorre perpendicularmente ao veio do motor. A descarga do ar efetua-se segundo a tangente ao raio das pás impulsoras. Estas, são as mais indicadas para produzir ar isento de óleo (Novais, 1995; Helvoirt, 2007).

Na figura 2.3 está representada a secção transversal de um compressor centrífugo com cinco estágios de compressão. O ar é admitido pelo centro de um rotor, com lâminas dispostas radialmente (impulsoras), que forçam o ar para a periferia, devido à força centrífuga. Antes de ser conduzido ao centro do próximo impulsor, o ar passa através de um difusor, onde a energia cinética é transformada em pressão. A relação de compressão do estágio é determinada pela alteração da velocidade do ar e pela sua densidade (Atlas Copco, 1976; *Process Industry Practices*, 2013).

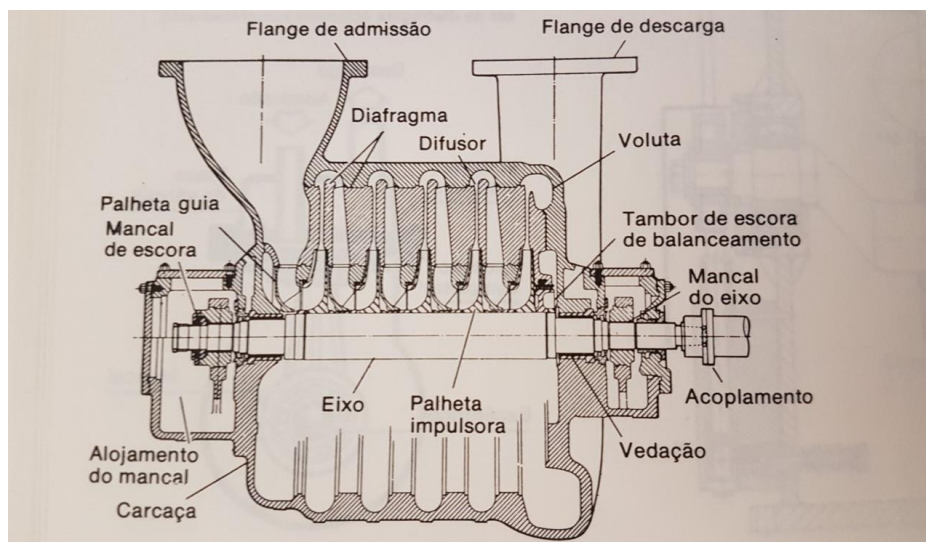


Figura 2.3 – Secção transversal de um compressor centrífugo (Atlas Copco, 1976)

Segundo a *Process Industry Practices* (2013), por norma, são necessários permutadores de calor, chamados de *intercoolers* para arrefecer o ar comprimido. Estes, são instalados entre os diferentes estágios do compressor.

Os compressores centrífugos são caracterizados por uma elevada velocidade de operação, podendo atingir as 100.000 rpm (mais comuns na indústria aeronáutica e espacial). Normalmente, as unidades centrífugas comercializadas operam em torno dos 20.000 rpm. A capacidade mínima de um compressor é limitada principalmente pelo fluxo, através do último estágio (Atlas Copco, 1976; Novais, 1995).

Segundo a Atlas Copco (1976) estes compressores tornam-se vantajosos quando utilizados em instalações com capacidades muito elevadas, com um perfil de consumos praticamente constante e altas pressões de trabalho. Nestes casos, estes compressores

têm uma maior eficiência, quando comparados com os compressores de deslocamento positivo.

- Compressores Axiais

No caso dos compressores axiais, a compressão nesta unidade processa-se paralelamente ao veio do motor (Novais, 1995). O gás sai axialmente ao longo do compressor, através de fileiras de lâminas rotativas e estacionárias (alternadamente) que imprimem velocidade ao gás e, por conseguinte, pressão (figura 2.4; Atlas Copco, 1976; *Process Industry Practices*, 2013).

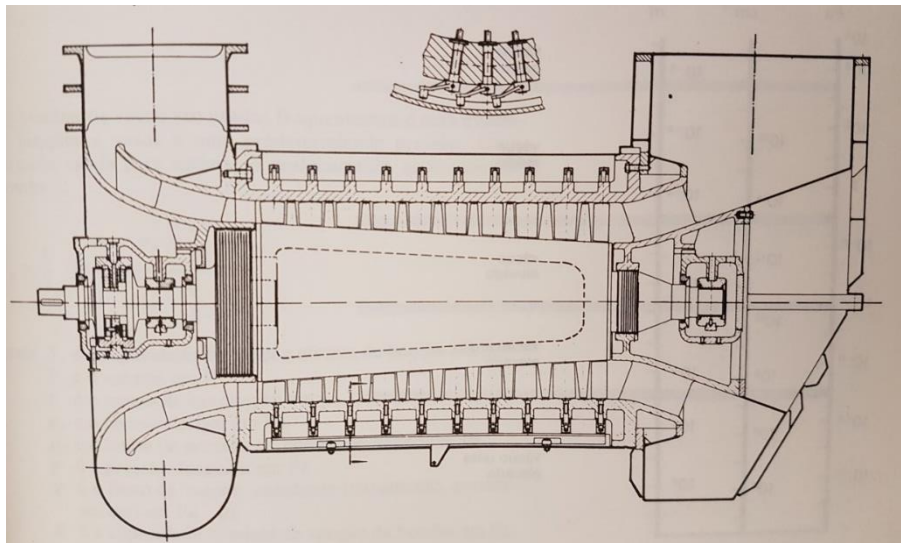


Figura 2.4 - Secção transversal de um compressor axial (Atlas Copco, 1976)

Para produzirem a mesma quantidade de ar, os compressores axiais necessitam de operar a velocidades mais elevadas (cerca de 25% superior), quando comparados com os compressores centrífugos, devido ao seu pequeno diâmetro (Atlas Copco, 1976).

Neste tipo de compressores, verifica-se como desvantagem o facto de operarem numa gama de caudais bastante elevados (superiores a 900 m³/min) e a pressões moderadas (até 14 bar). Estes aspetos dificultam a sua utilização na produção do ar comprimido. São, portanto, frequentemente utilizados no fornecimento de gás natural, através de condutas com quilómetros de extensão (Novais, 1995; Helvoirt, 2007).

2.2.1.2 Compressores Volumétricos

Os compressores volumétricos, também conhecidos por compressores de deslocamento positivo, comprimem o ar recorrendo à diminuição do volume da/câmara/s de compressão. Os compressores volumétricos podem ser rotativos ou alternativos (BOSH, 2008; Figueiredo, 2016).

Este tipo de compressores, ao contrário dos dinâmicos, são, normalmente, utilizados em instalações com caudais mais reduzidos e com variações significativas no caudal de ar.

- Compressores Alternativos de Pistão

Nos compressores alternativos de pistão o ar entra dentro de um cilindro e é comprimido através de um pistão móvel. Este compressor tem o mesmo princípio de operação de um conjunto biela/manivela utilizado num motor de combustão interna (Atlas Copco Airpower NV, 2015). Trata-se do tipo de compressor mais antigo e comum, de deslocamento positivo.

Ao abordar este tipo de compressores, é possível dividi-los em simples ou duplo efeito, podendo estes ser isentos ou lubrificados a óleo (Atlas Copco Airpower NV, 2015). Os primeiros, caracterizam-se por serem do tipo “tronco” (figura 2.5, esquerda), onde o êmbolo faz também de guia. Neste caso, só existe compressão num sentido, podendo a unidade ser constituída por um ou mais cilindros. Nos compressores de duplo efeito, classificados como “cruzeta”, o pistão efetua a compressão em ambas as faces (figura 2.5, direita), isto é, quando sobe, admite ar pela parte inferior e comprime o ar pela parte superior e, quando desce, o processo ocorre inversamente. É de referir que este tipo de compressor possui haste de êmbolo e guia própria (Royo, 1977; Novais, 1995).

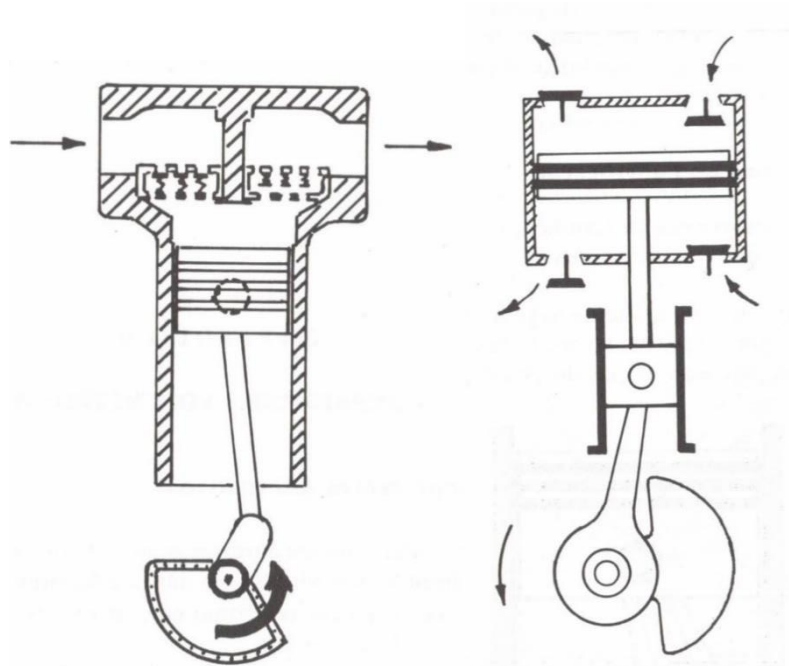


Figura 2.5 – Compressor de simples efeito (esquerda; Novais, 1995) e compressor de duplo efeito (direita; Novais, 1995)

- Compressores de Parafuso

Segundo a Atlas Copco (1976) e Wennemar (2009), o compressor de parafuso é uma máquina de deslocamento positivo, com uma relação de compressão estabelecida. Este

tipo de compressor possui dois rotores em forma de parafusos, que giram em sentido contrário, mantendo, entre si, uma condição de engrenamento. A conexão do compressor com o sistema faz-se através das aberturas de sucção e descarga, diametralmente opostas. O ar entra pela abertura de sucção e ocupa os intervalos entre os filetes dos rotores. A partir do momento em que ocorre o engrenamento de um determinado filete, o ar nele contido fica fechado entre o rotor e as paredes da carcaça, como é possível de verificar na figura 2.6.

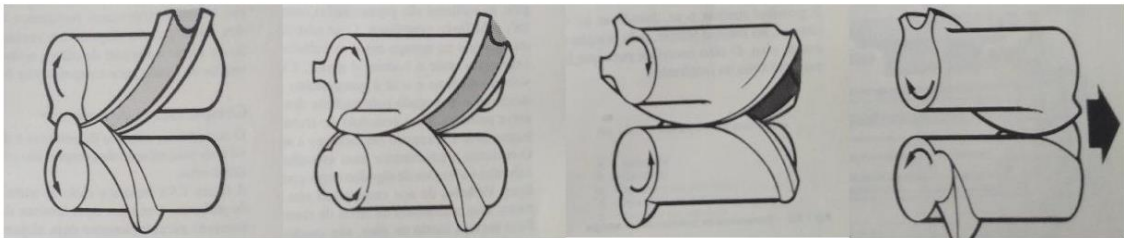


Figura 2.6 – Princípio de funcionamento de um compressor de parafuso (Atlas Copco, 1976)

A rotação faz com que o ponto de engrenamento se vá deslocando para a frente, reduzindo o espaço disponível para o ar e, provocando, por conseguinte, a sua compressão. Finalmente, é alcançada a abertura de descarga e o ar é libertado (figura 2.7; BOSH, 2008; Wennemar, 2009). Estes compressores podem também eles ser isentos ou lubrificados a óleo.

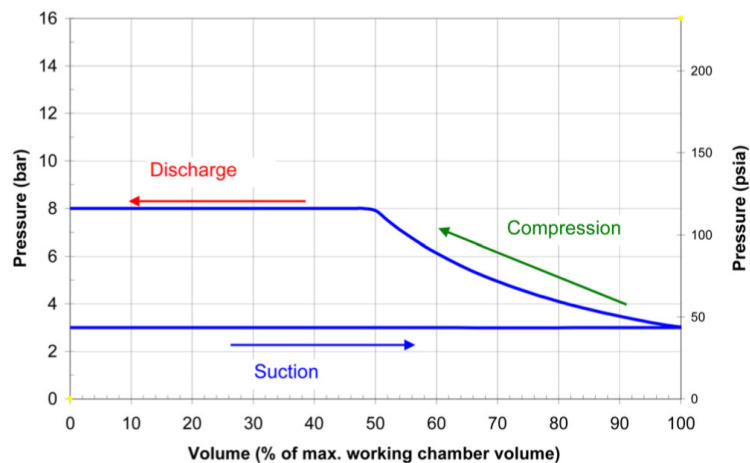


Figura 2.7 – Diagrama pressão-volume ideal de funcionamento de um compressor de parafuso (Wennemar, 2009)

Nos compressores de parafuso lubrificados, o óleo é injetado na câmara de compressão e nos rolamentos do compressor. Este, tem como função arrefecer e lubrificar os elementos rotativos do compressor, como também arrefecer o ar comprimido e reduzir o caudal de retorno para a entrada do compressor (Atlas Copco Airpower NV, 2015).

Os compressores de parafuso, isentos de óleo, não utilizam qualquer líquido refrigerante dentro da câmara de compressão, dado que os rotores não entram em contacto entre eles. Os rotores e a carcaça de compressão são fabricados com uma

elevada precisão, com o intuito de minimizar o caudal de retorno (Atlas Copco Airpower NV, 2015).

O custo associado ao tratamento do ar comprimido produzido nestes compressores é inferior aos compressores lubrificados a óleo, devido à necessidade destes segundos utilizarem separadores de óleo (Atlas Copco Airpower NV, 2015).

2.2.1.3 Sistema de Controlo do Compressor

O sistema de controlo de um compressor permite aumentar a sua eficiência e fiabilidade. Uma vez que na indústria os perfis de consumo de ar comprimido são, normalmente, irregulares, verifica-se a necessidade de adaptar o regime de funcionamento do compressor ao perfil de consumo de ar (Adene, 2017).

Ao longo da laboração, denota-se que os equipamentos pneumáticos não trabalham simultaneamente (salvo raras exceções), pelo que surge a necessidade de ajustar a capacidade de resposta de cada unidade de compressão às condições de serviço (Novais, 1995).

Um sistema de controlo tem como principal objetivo controlar o débito de ar comprimido, da forma mais económica possível e, tendo em vista a adaptação às reais condições da instalação (Adene, 2017).

- Arranque - Paragem

O sistema de controlo arranque - paragem é a forma mais simples de controlar um compressor. Com o arranque do motor, inicia-se a produção de ar comprimido, elevando a pressão do mesmo, sendo que quando esta atinge o valor máximo estabelecido, o motor do compressor para. Recorre-se a este tipo de controlo em compressores de baixa potência, que apresentem um regime de trabalho reduzido, revelando-se, por isso, um controlo pouco eficiente (Atlas Copco Airpower NV, 2015; Adene, 2017). Complementarmente, são também desvantagens os inúmeros arranques e paragens do motor, que podem conduzi-lo ao limite, danificando-o.

- Carga - Vazio

O sistema de controlo carga – vazio é, por norma, utilizado em equipamentos que funcionam continuamente e, com uma solicitação de ar comprimido constante. Neste sistema, a unidade comprime o ar entre dois limites de pressão previamente estabelecidos (Novais, 1995; Rocha & Monteiro, 2014). Quando o compressor se encontra em carga, a válvula de admissão abre, iniciando-se a produção de ar comprimido, elevando a pressão. Quando esta atinge um valor máximo, o controlador emite um sinal para a válvula de admissão fechar, estando, nesse momento, o equipamento a trabalhar em vazio. Os tempos em vazio não podem ser prolongados,

pois penalizam a eficiência do equipamento (Atlas Copco Airpower NV, 2015; Adene, 2017).

Neste sistema de controlo é importante regular o tempo de permanência em vazio. Caso este seja elevado é indicado parar o compressor. Caso ocorra uma lenta descida de pressão no reservatório da central, esta deve-se ao facto do consumo de ar comprimido diminuir significativamente tornando-se, por conseguinte, longo o tempo de permanência em vazio, o que se revela pouco económico (não produzindo ar e consumindo energia elétrica; Novais, 1995). Não obstante, quando o compressor é desligado sucessivas vezes, é necessário ter em atenção o limite de arranques do motor eléctrico, pois estes podem danificá-lo.

- Variação de Velocidade

Sob o ponto de vista económico, há situações onde as unidades convencionais têm enorme dificuldade de adaptação, sobretudo, devido às fortíssimas irregularidades de consumo de ar comprimido. Como tal, não se justifica uma máquina laborar 30/40 % da sua capacidade, por largos períodos de tempo, com paragens e arranques sucessivos, pois estes, acarretam problemas de aquecimento e consumos excessivos de energia elétrica (Novais, 1995; Rocha & Monteiro, 2014).

A variação da rotação do motor de acionamento do elemento compressor adapta o caudal produzido às necessidades de consumo. Num sistema de ar comprimido onde exista uma instabilidade no perfil de consumos, pode revelar-se mais eficiente a utilização deste tipo de controlo (Atlas Copco Airpower NV, 2015; Adene, 2017). Não obstante, o controlo por variação de velocidade revela-se mais eficiente em variações de perfil de consumos de pequenas amplitudes. Para grandes amplitudes de variação, esta solução não é a mais indicada, pois a máquina apresenta um limite mínimo e máximo no seu débito de ar comprimido (Adene, 2017).

- Modelação

O controlo por modelação baseia-se no ajuste da abertura ou fecho da válvula de admissão permanentemente, isto é, maior ou menor abertura da válvula. Deste modo, ao controlar a quantidade de ar atmosférico que entra na unidade, conseguir-se-á que a pressão à saída da máquina seja constante. Contudo, para manter a pressão constante, a unidade compressora é forçada a descarregar para a atmosfera o excesso de produção de ar comprimido, ou seja, responder energeticamente como se estivesse muito próximo dos 80 ou 90% de carga, apesar do consumo da instalação se revelar nitidamente inferior (Novais, 1995; Atlas Copco Airpower NV, 2015).

Esta solução apenas se torna eficiente em compressores dinâmicos, pois o princípio de funcionamento dos volumétricos baseia-se num aumento da taxa de compressão do elemento, ao criar uma queda de pressão na sua admissão (Adene, 2017).

Este controlo torna-se também viável quando o consumo estiver continuamente próximo dos 100%, ou com pequenas variações ao longo do tempo (Novais, 1995).

2.3 Tratamento do Ar Comprimido

O tratamento do ar comprimido tem como finalidade garantir que a qualidade do mesmo está em conformidade com o especificado pelo consumidor, evitando a deterioração prematura de todos os componentes da rede de ar comprimido (Novais, 1995; Adene, 2017).

O ar comprimido, dependendo do tipo de compressão que sofre, contém impurezas e humidade, podendo provocar uma alteração da qualidade do produto final. Nestas situações, torna-se importante o seu tratamento para que o ar comprimido tenha a qualidade adequada ao processo de fabrico (Adene, 2017).

Segundo a Adene (2017) e Indah, Kasuma e Mardani (2017), é possível encontrar alguns tipos de contaminantes no ar comprimido, tais como humidade, partículas, óleo (principalmente nos compressores lubrificados a óleo) e hidrocarbonetos¹. Assim, torna-se fundamental o tratamento do ar comprimido através de equipamentos auxiliares (filtros e secadores). Contudo, é necessário ter presente que estes equipamentos também consomem energia, pelo que é imprescindível procurar oportunidades de poupança de energia nesta área.

Rocha e Monteiro (2014) indicam diversos benefícios obtidos com o tratamento do ar comprimido tais como: aumento da vida útil dos equipamentos; melhoria da qualidade do produto final; tubulações pneumáticas isentas de contaminantes; redução de problemas mecânicos derivados do mau funcionamento; redução de custos associados à aquisição de dispositivos de eliminação de condensado nas linhas; diminuição dos tempos mortos, graças à manutenção corretiva; redução do consumo de energia, entre outros.

Em suma, torna-se importante prestar especial atenção a algumas informações relativas aos equipamentos utilizados no tratamento do ar comprimido, imprescindíveis para o desenrolar deste trabalho. Assim, são apresentados, seguidamente, fundamentos teóricos sobre a qualidade do ar, os principais tipos de secagem e filtros de ar.

¹ Compostos formados apenas por átomos de hidrogénio e carbono do tipo CxHy.

2.3.1 Qualidade do Ar Comprimido

Segundo a norma ISO 8573-1: 2010 são definidas sete classes de pureza do ar (entre 0 e 6). Quanto menor for este número, melhor será a qualidade do ar. Estas classes definem o nível máximo de partículas sólidas, o óleo por metro cúbico de ar e a máxima quantidade de água no ar comprimido sob pressão (PDP).

Quanto maior for a qualidade do ar pretendida, maior será o custo associado ao tratamento do ar, devido às perdas de carga introduzidas por filtros e secadores. Contudo, a necessidade de otimização dos consumos energéticos da central nunca poderá comprometer a qualidade do produto final e a fiabilidade do processo. É de realçar que o ar contaminado pode entrar em contacto com o produto final e, desse modo, os custos de rejeição podem rapidamente tornar-se exacerbados (Atlas Copco, 2018a).

Na tabela 2.1 é possível verificar as classes de pureza do ar comprimido e os respetivos limites.

Tabela 2.1 – Classes de pureza do ar (ISO 8573-1: 2010)

Classe de Pureza	Partículas Sólidas			Água		Óleo Total
	Número máximo de partículas por m ³			Ponto máximo de orvalho sob pressão		Concentração máxima
	0,1-0,5 micron	0,5-1,0 micron	1,0-1,5 micron	°C	°F	Mg/m ³
0	Conforme especificado pelo utilizador ou fornecedor do equipamento e mais rigorosa do que a classe 1.					
1	≤ 20000	≤ 400	≤ 10	≤ -70	≤ -94	≤ 0,01
2	≤ 40000	≤ 6000	≤ 100	≤ -40	≤ -40	≤ 0,1
3	-	≤ 90000	≤ 1000	≤ -20	≤ -4	≤ 1
4	-	-	≤ 10000	≤ 3	≤ 37,6	≤ 5
5	-	-	≤ 1000000	≤ 7	≤ 44,6	-
6	≤ 5 mg/m ³			≤ 10	≤ 50	-

O ar atmosférico contém sempre humidade na forma de vapor de água. Esta humidade, caso não seja devidamente controlada pode originar diversos problemas, tais como: elevados custos de manutenção; redução da vida útil do equipamento e prejudicação do índice de desempenho das máquinas; desvios nos sistemas de controlo e nos instrumentos de medida; menor vida útil da instalação (tubagem) devido à corrosão (Indah, Kasuma, & Mardani, 2017). Segundo a Atlas Copco (2018a), um compressor de 100 kW que aspira ar a 20 °C com uma humidade relativa de 60%, acumula cerca de 85 litros de água durante um turno de 8 horas. A água pode ser separada utilizando secadores de ar.

A quantidade de óleo no ar comprimido depende de vários fatores entre os quais: o tipo de máquina (isento ou lubrificado a óleo), a idade e a condição da mesma. Se a solução passar por compressores lubrificados a óleo, é importante considerar as limitações especificadas da qualidade do ar comprimido, relativas à concentração de óleo presente no mesmo (Indah, Kasuma, & Mardani, 2017; Atlas Copco, 2018a).

Por fim, é de referir que a maior parte das partículas sólidas que contaminam o ar comprimido são menores que 2 μm e podem passar facilmente pelo filtro de entrada do compressor. As partículas espalham-se pela rede e misturam-se com resíduos de água e óleo, podendo resultar no crescimento de micro-organismos. Recorre-se, assim, a um filtro posicionado diretamente após o compressor (Atlas Copco, 2018a).

2.3.2 Secagem do Ar Comprimido

O ar aspirado num compressor contém vapor de água (na sua maioria presente a elevadas temperaturas). À medida que é comprimido e arrefecido, este vapor de água condensa. Assim, é necessário recorrer a secadores de ar para eliminar os condensados do ar (Atlas Copco, 2018b). O principal parâmetro existente num secador de ar é a temperatura de Ponto de Orvalho sob Pressão (PDP). Este quantifica o teor de vapor de água contido no ar comprimido, ou seja, a temperatura à qual o ar atinge a saturação, à pressão de operação, e abaixo da qual ocorre a condensação desse vapor de água (Adene, 2017). Existem dois grandes métodos de secagem de ar: o princípio de secagem baseado na refrigeração e o princípio de secagem baseado na adsorção.

2.3.2.1 Secagem por Refrigeração

O princípio de secagem por refrigeração baseia-se num ciclo frigorífico, onde o arrefecimento do ar comprimido provoca a condensação do vapor de água nele contido (Adene, 2017).

Neste método de secagem, o ar é arrefecido dando-se a condensação do mesmo. Após o arrefecimento e a condensação, o ar comprimido é reaquecido até à temperatura ambiente, de modo que a formação de condensados não ocorra na rede de distribuição (figura 2.8; Atlas Copco, 2018c).

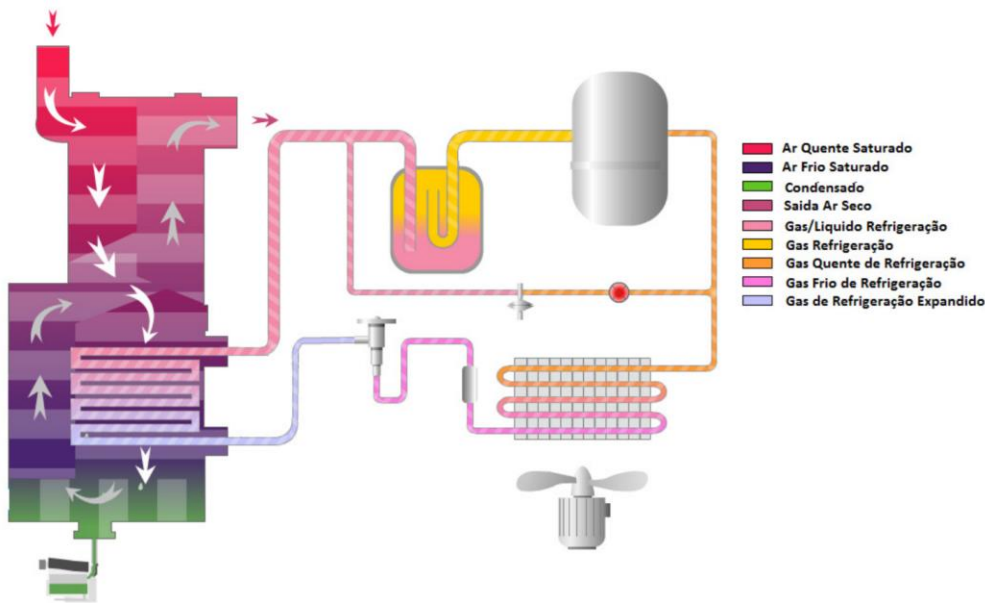


Figura 2.8 – Diagrama ilustrativo do princípio de secagem por refrigeração (Adene, 2017)

Este método apresenta limitações, uma vez que restringe a temperatura de PDP acima de 0 °C, para evitar o congelamento da água no condensador (Adene, 2017; Indah, Kasuma, & Mardani, 2017). Atualmente, os secadores por refrigeração utilizam fluidos frigoríficos com baixo potencial de aquecimento global (GWP, Global Warming Potential) para que, em casos de fuga, contribuam menos para o aquecimento global (Atlas Copco, 2018c).

- Ciclo de Refrigeração

Segundo Wang (2001), a refrigeração é definida como um processo de extração de calor de uma fonte fria, de baixa temperatura, para um dissipador de calor a uma temperatura mais elevada. A refrigeração mantém a temperatura da fonte de calor abaixo da sua vizinhança, enquanto transfere o calor extraído para um dissipador (ar atmosférico ou água). Esta definição é válida para o modo de funcionamento dos secadores de ar por refrigeração.

Em acréscimo, Wang (2001) defende que um sistema de refrigeração é uma combinação de componentes e equipamentos interligados sequencialmente com o intuito de produzir o efeito de refrigeração. O ciclo de compressão de vapor é o mais utilizado para representar este sistema.

Torna-se relevante, primordialmente ao ciclo de vapor real abordar o ciclo de Carnot. Deste modo, na figura 2.9 (esquerda) apresenta-se um esquema simplificado do ciclo de Carnot e na figura 2.9 (direita) está presente o diagrama T-s do respetivo ciclo. O ciclo de Carnot é um ciclo totalmente reversível que consiste em dois processos isotérmicos reversíveis (3-4 e 1-2) e dois isentrópicos (2-3 (compressão) e 4-1 (expansão)). Este ciclo

apresenta máxima eficiência térmica para determinados limites de temperatura, e é utilizado como um padrão de comparação para todos os ciclos de refrigeração reais (Jabardo, Zerbine, Júnior, & Ikeda, 1985; Çengel & Boles, 2004).

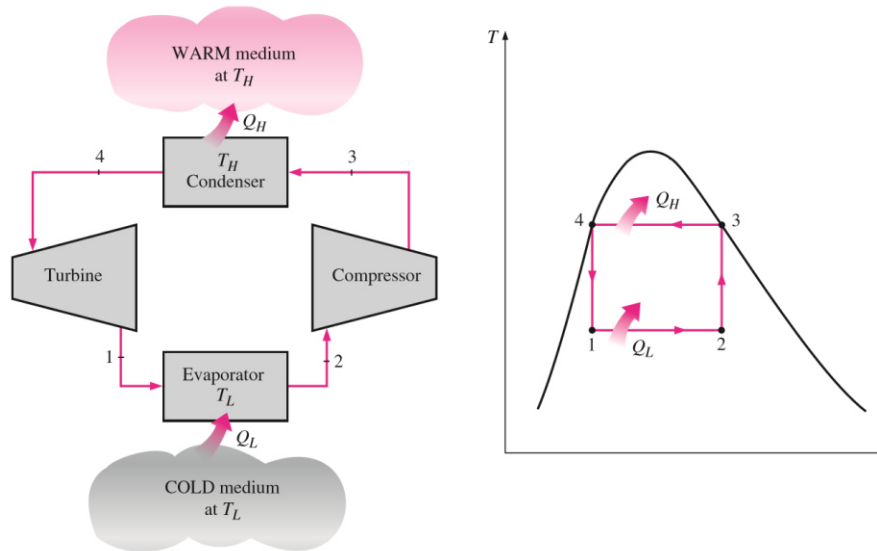


Figura 2.9 - Esquema simplificado ciclo de Carnot (esquerda; Çengel & Boles, 2004); Diagrama T-s do ciclo de Carnot (direita; Çengel & Boles, 2004)

Denotam-se inexequibilidades associadas ao ciclo de Carnot reversível, que podem ser eliminadas pela vaporização completa do fluido frigorígeno antes de ser comprimido e, pela substituição da turbina por uma válvula de expansão, ou por um tubo de capilar. O ciclo resultante destas modificações é denominado de ciclo de refrigeração de vapor ideal (representado na figura 2.10 pelo correspondente diagrama T-s; Çengel & Boles, 2004).

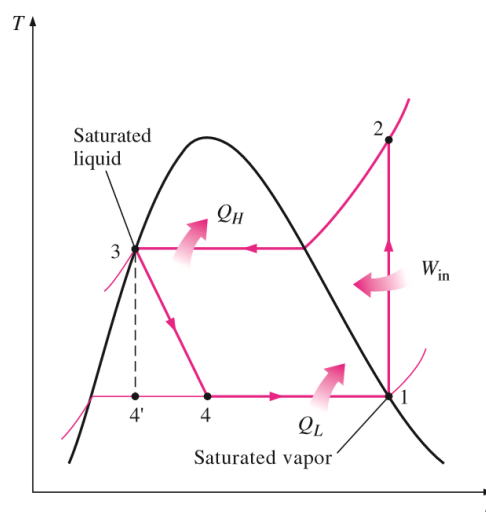


Figura 2.10 – Diagrama T-s Do ciclo de refrigeração de vapor ideal (Çengel & Boles, 2004).

Os processos deste ciclo são: 1-2 Compressão adiabática reversível desde o estado de vapor saturado até à pressão de condensação; 2-3 Rejeição reversível de calor a pressão constante, diminuindo inicialmente a temperatura do fluido frigorífero e condensando-o posteriormente; 3-4 Expansão irreversível e entalpia constante desde o estado de líquido saturado até à pressão de evaporação; 4-1 Ganho de calor a pressão constante, evaporando o fluido frigorífero até ao estado de vapor saturado (Jabardo, Zerbine, Júnior, & Ikeda, 1985).

Por fim, segundo Çengel e Boles (2004) um ciclo de refrigeração de compressão de vapor real difere do ideal de várias formas, mas, sobretudo, devido às irreversibilidades que ocorrem nos vários componentes. Alguns exemplos dessas irreversibilidades são: a fricção do fluido que provoca perdas de pressão; a troca de calor com a vizinhança; a entrada de vapor sobreaquecido no compressor (garantindo que o fluido está completamente vaporizado) e o rendimento da compressão e da expansão diferentes de 100%.

- Fluidos Frigoríferos

Um fluido frigorífero é o principal fluido de trabalho utilizado para absorver e transmitir calor num sistema de refrigeração. Os fluidos frigoríferos absorvem calor a baixa temperatura e a baixa pressão, de um determinado espaço, e libertam-no a uma temperatura e pressão mais elevada para o ar livre. A maioria dos fluidos frigoríferos sofrem mudanças de fase durante a absorção de calor – evaporação e a libertação de calor – condensação (Wang, 2001; Abushakra et al., 2017).

A seleção de um fluido frigorífero deve satisfazer muitos requisitos, dos quais a maioria não se relacionam com a sua capacidade de transferência de calor. Podem-se enumerar alguns requisitos importantes a ter em consideração tais como, a sua estabilidade química nas condições de utilização; inflamabilidade e toxicidade, para questões de segurança; consequências ambientais aquando de possíveis derrames; custo, disponibilidade e eficiência; regulamentação em vigor (Abushakra et al., 2017).

À medida que a solicitação industrial do método de secagem por refrigeração aumentou, surgiram os hidrocarbonetos, sintetizados a partir dos hidrocarbonetos da série metano e etano. O R 12, numa primeira fase, era muito utilizado em secadores de refrigeração, contudo, a sua composição química prejudicava gravemente o meio ambiente e a camada de ozono. Assim, este fluido frigorífero foi progressivamente substituído pelo R 22. Mais tarde, dado que este último passou a ser considerado danoso para o ambiente, surgiram o R 134a e o R 404a (Novais, 1995).

Nos últimos anos, o R 407c tem sido o fluido frigorífero utilizado para substituir o R 22 nos secadores de refrigeração. Trata-se de uma mistura de fluidos frigoríferos (R 32,

R 125 e R 134a) não azeotrópica², com grau zero de destruição da camada de ozono (ODP=0; Abushakra et al., 2017; Falih, 2018).

Um estudo realizado por Falih (2018) revelou que o COP de um sistema que utiliza o R 22 é maior do que um sistema que utiliza o R 407c e o R 404 em 8% e 12%, respetivamente. Contudo, o R 407c revela-se uma melhor solução a nível ambiental.

Por último, surgiram o R 32 e o R 1234ze com um baixo GWP, tornando-se menos prejudiciais para o meio ambiente.

Atualmente, encontra-se em vigor o Regulamento (EU) n.º 517/2014 relativo aos gases fluorados com efeito de estufa, que proíbe e limita a utilização dos mesmos.

2.3.2.2 Secagem por Adsorção

O processo de secagem por adsorção é obtido pela passagem do ar comprimido através de um material dessecante. Estes materiais apresentam um elevado poder de atração das moléculas de água, absorvendo-as em grande quantidade e, garantindo assim, valores de PDP muito baixos (entre -20 °C e -70 °C), quando comparados com os valores obtidos na secagem por refrigeração (Indah, Kasuma, & Mardani, 2017). Após o preenchimento das superfícies irregulares deste material com água, será necessário regenerá-lo, reativando a sua capacidade de adsorção. Este processo de regeneração pode ser realizado de várias formas: regeneração por ar de purga, regeneração por ar quente e regeneração por calor de compressão (Adene, 2017).

Estes secadores, devido ao seu baixo PDP, são adequados para o fornecimento de ar muito seco para aplicações mais críticas (elevado grau de qualidade em termos de quantidade de água presente no ar comprimido; Atlas Copco Airpower NV, 2015).

2.3.3 Filtração do Ar Comprimido

De forma a obter ar comprimido dentro dos padrões para a aplicação industrial desejada, após resolvido o problema da água, é necessário remover as partículas sólidas e partículas de óleo. Assim, deve ser selecionado um tipo de filtragem adequado para o sistema de ar comprimido (Adene, 2017; Novais, 1995).

Segundo a Atlas Copco Airpower NV (2015) numa atmosfera industrial, 1 m³ de ar contém cerca de 140 milhões de partículas e 80% dessa quantidade têm dimensão inferior a 2 µm. Por este motivo, torna-se imprescindível filtrar o ar após a unidade de

² Mistura de líquidos que destilam a uma temperatura bem definida, para determinada pressão, sendo a composição do vapor igual à do líquido.

compressão, dado que o filtro à entrada do compressor não possui uma malha inferior a 5 μm .

Com a evolução da tecnologia, encontram-se disponíveis filtragens mais eficientes na remoção de partículas sólidas. Contudo, em instalações que possuem máquinas lubrificadas a óleo, para manter a qualidade do ar, é necessário existir múltiplos estágios de filtragem do ar (filtros de carvão ativado). Estes estágios são compostos por pré-filtros de proteção do secador e por um ou mais filtros de remoção de partículas e vapores remanescentes (podendo reduzir a quantidade de óleo até 0,01 mg/m^3 ; Adene, 2017; Atlas Copco, 2018d).

Para condições de referência (21 °C), quando perfeitamente dimensionados, os filtros introduzem uma perda de carga na rede inferior a 0,1 bar. No entanto, as capacidades de separação destes filtros são negativamente afetadas pelo aumento da temperatura do ar (a quantidade de vapor de óleo aumenta exponencialmente). Ocorre, assim, a diminuição da sua eficiência e a sua vida útil. Dado que, ao longo do tempo, os elementos filtrantes colmatam, a condição dos mesmos deve ser verificada regularmente, devendo existir um plano de manutenção devidamente planeado (Adene, 2017; Atlas Copco, 2018d).

2.4 Armazenamento do Ar Comprimido

Para diminuir as variações de pressão em toda a rede de distribuição recorre-se ao armazenamento do ar comprimido através de reservatórios. Estes equipamentos são, normalmente, instalados na sala dos compressores, junto das outras máquinas utilizadas na produção de ar comprimido (Adene, 2017).

Todos os compressores de características volumétricas, quer alternativos, quer rotativos, por uma questão de equilíbrio de funcionamento, necessitam do apoio de um ou mais reservatórios de ar. Por outro lado, os compressores dinâmicos não precisam deste tipo de apoio, uma vez que se adaptam, continuamente, às flutuações da pressão da rede (Novais, 1995).

Um reservatório de ar deverá respeitar sempre a pressão máxima de serviço. Para além de projetado, fabricado e testado segundo as normas em vigor, deve possuir um manómetro e uma válvula de segurança de forma a escoar o caudal produzido pelos compressores. Por fim, a sua instalação deve respeitar a legislação em vigor (Instrução Técnica Complementar para Recipientes Sob Pressão de Ar Comprimido, publicada em Diário da República, como anexo ao Despacho 1859/2003 (2ª Série)).

A capacidade do reservatório pode ser determinada de uma forma empírica. Para pressões de serviço que oscilem entre 7 e 10 bar, e situando o regime de carga/vazio num diferencial de 0,5 bar, o volume do reservatório (m^3) é equivalente a um décimo da

capacidade nominal da central de compressores expressa em m^3/min . Contudo, o volume da rede de distribuição influencia este valor empírico, atuando como um efeito capacitivo. Assim, ao valor de um décimo do caudal em m^3/min deve ser descontado o volume respeitante à rede de tubagem (Novais, 1995).

2.5 Arrefecimento do Sistema de Produção e Tratamento de Ar Comprimido

Durante o processo de compressão do ar, os elementos das máquinas associadas ao seu tratamento e à sua produção aquecem. Para diminuir o desgaste dos equipamentos é necessário dissipar o calor gerado na produção de ar comprimido, recorrendo a água ou a ar (dependendo da tipologia de arrefecimento das máquinas utilizadas; Novais, 1995).

Quando as máquinas são refrigeradas a ar têm incorporado um sistema de ventilação que faz diminuir a temperatura dos seus elementos. Por outro lado, quando as máquinas são arrefecidas a água, são utilizadas torres de arrefecimento para dissipar a energia necessária do fluido, estando este em constante circulação (Novais, 1995; Atlas Copco Airpower NV, 2015).

2.5.1 Torres de Arrefecimento

As torres de arrefecimento são uma parte principal de vários processos industriais. Estas são utilizadas para diminuir a temperatura da água, fazendo-a entrar em contacto, direto ou indireto, com o ar, dissipando parte do calor presente na mesma (Jabardo, Zerbine, Júnior, & Ikeda, 1985; Jafar & Kamal, 2016).

As torres de arrefecimento podem ser divididas em torres de tiragem natural, tiragem forçada ou tiragem induzida (figura 2.11). Podem ainda ser classificadas consoante o sentido de escoamento do ar. Se o escoamento de ar que atravessa o fluxo descendente de água quente for perpendicular a este, denominam-se torres de fluxo cruzado. Se o escoamento de ar for em sentido contrário ao do escoamento de água, denominam-se torres de fluxo em contracorrente (Facão, 1999; Vale, 2015; Hall, 2018)

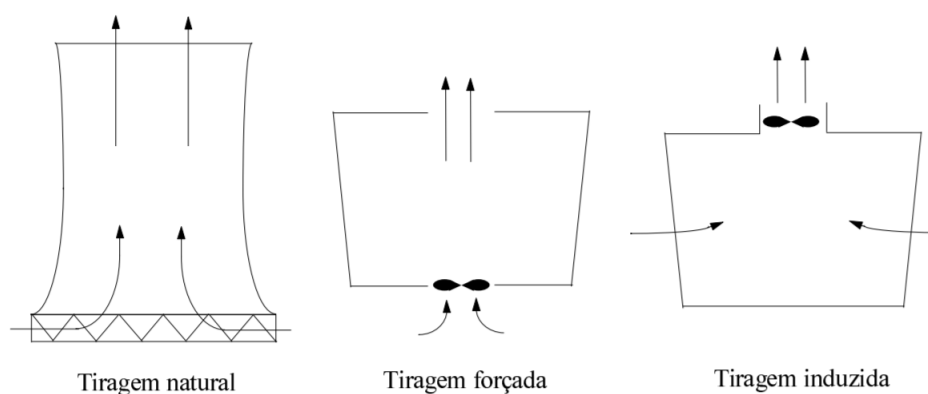


Figura 2.11 – Classificação das torres de arrefecimento quanto ao tipo de tiragem (Facão, 1999)

No que respeita à classificação das torres de arrefecimento quanto ao tipo de contacto, estas podem ser de contacto direto ou indireto (figura 2.12). Uma torre de arrefecimento de contacto direto tem como constituintes: o ventilador, o sistema de bombeamento e injeção de água, o tanque de acumulação de água, o eliminador de gotas e o material de enchimento em estrutura de favos. Este material de enchimento, para além de aumentar a área de transferência de calor, reduz a velocidade de queda da água, aumentando o tempo de exposição das gotas ao escoamento de ar. Por outro lado, numa torre de refrigeração de contacto indireto, o material de enchimento é substituído por um feixe de tubos, no qual circula o fluido que é necessário arrefecer. É de salientar que neste tipo de torres existe um circuito interno fechado, que banha constantemente a parte exterior do feixe de tubos (Facão, 1999; Vale, 2015; Hall, 2018).

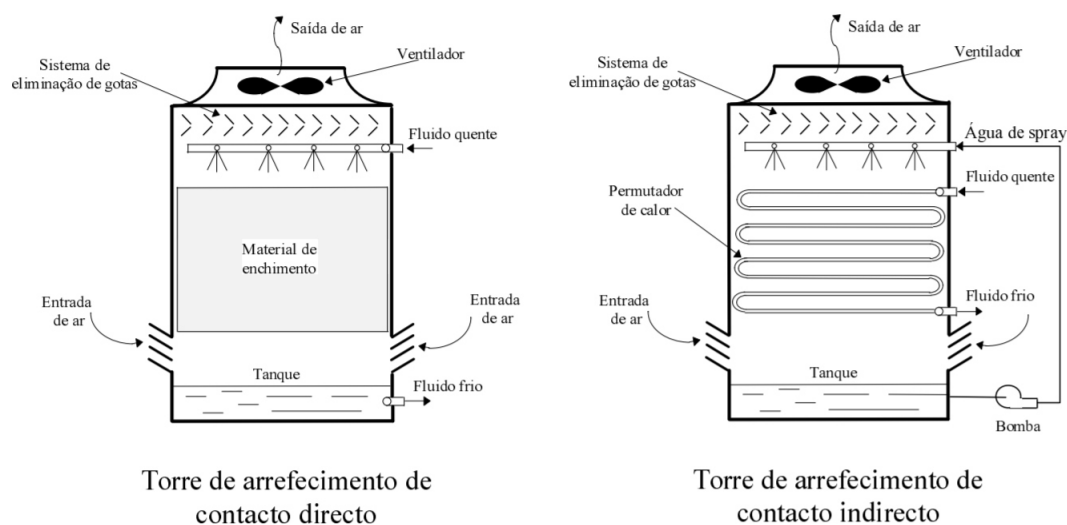


Figura 2.12 – Classificação das torres de arrefecimento quanto ao tipo de contacto (Facão, 1999)

Quando uma unidade compressora transfere o calor desenvolvido durante o ciclo de trabalho através da água, é obrigatório o recurso a sistemas de arrefecimento. As torres de arrefecimento são consideradas um circuito de refrigeração em sistema semiaberto. Neste sistema, a água depois de remover a carga térmica dos permutadores é conduzida para uma torre de arrefecimento. Nesta, a água é arrefecida através da utilização do seu elevado calor latente de evaporação³, por força de um fluxo de ar em contracorrente e forçado por um ventilador. Após ocorrer uma redução de temperatura, a água volta de novo aos permutadores de calor onde se encontrava e onde se irá manter em permanente recirculação (Novais, 1995).

Pode-se referir que cerca de 90% do calor transferido da água para o ar é da responsabilidade do processo evaporativo (com perda de massa). Durante o mesmo, o

³ Calor que uma unidade de massa, de uma substância, deve receber ou ceder para mudar de fase.

calor latente é o principal contribuinte, ou seja, a evaporação processa-se através da transformação do calor sensível ⁴ em latente (Novais, 1995).

Ainda segundo o mesmo autor, numa torre, a água quente (através da ação da gravidade) parte sempre do ponto mais alto para o ponto mais baixo (tanque), enquanto o ar percorre o mesmo trajeto, por convecção forçada (ventilador), mas de baixo para cima (contracorrente) e com a particularidade de ambos os fluidos contactarem entre si. Para alongar o tempo e a superfície de contacto entre a água e o ar, maximizando a transferência de calor, são criados lençóis de água com espessura fina ou chuveiros nos quais a água é pulverizada.

2.6 Manutenção Industrial

A manutenção é algo fundamental para o bom funcionamento de um sistema de ar comprimido. A execução das ações de manutenção preventiva, conforme a indicação do fabricante poderão, igualmente, manter a eficiência dos equipamentos (Scheihing, Charlotte, & Greenwood, 2001). Uma manutenção adequada garante que os equipamentos trabalhem dentro dos parâmetros de referência, sem aumento dos consumos de energia elétrica. Além de garantir uma maior fiabilidade, prolonga a vida útil dos equipamentos e minimiza os possíveis riscos de contaminação do ar que alimenta as máquinas da unidade fabril (Adene, 2017).

A manutenção pode-se dividir em quatro classes: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção condicionada (preditiva) e manutenção total (Novais, 1995).

A manutenção corretiva surge logo após uma ocorrência de avaria inesperada, processando-se uma reparação de emergência. A manutenção preventiva é uma intervenção realizada tendo em conta as horas de funcionamento do equipamento, evitando-se uma possível avaria. A manutenção condicionada (preditiva) permite conhecer, a todo o instante, o estado efetivo do equipamento e determinar o momento exato de qualquer intervenção, eliminando, assim, as substituições por excesso ou por defeito. Por fim, a manutenção total surge quando existe uma cooperação entre todos os utilizadores dos equipamentos (diretos e indiretos) na manutenção e preservação dos mesmos (Novais, 1995).

2.6.1 Manutenção dos Compressores

Dependendo do tipo de compressor, existem diferentes procedimentos de manutenção. Contudo, muitos conceitos são comuns a todos os tipos de tecnologia, tais como, fenómenos ligados ao atrito; temperatura; contaminação do ar; pressão; seleção de

⁴ Calor que provoca a alteração de temperatura num objeto.

lubrificantes (Novais, 1995). Neste capítulo dar-se-á especial atenção à manutenção de compressores de parafuso lubrificados e isentos de óleo e de compressores dinâmicos.

No que diz respeito à manutenção mecânica dos compressores de parafuso lubrificados, existem cinco pontos essenciais de intervenção periódica a ter em consideração: filtro de admissão do ar; filtro de óleo; elemento separador ar/óleo; mudança de óleo; mudança de rolamentos (Novais, 1995).

A intervenção no filtro de admissão do ar depende das condições ambientais e da limpeza do local onde os compressores estão instalados. No entanto, o sistema de controlo electropneumático, possui um sensor que, através de uma perda de carga ($\Delta P = 0,05$ bar), assinala o seu grau de colmatção. O filtro do óleo é normalmente substituído às 2000 horas de funcionamento, estando o compressor também equipado com um sensor que transmite o seu grau de colmatção. A mudança do elemento separador de ar/óleo é indicada pelo fabricante, mas, estatisticamente, um valor comum para a sua substituição são 4000 horas de trabalho. A mudança do óleo (mineral) é normalmente efetuada a cada 2000 horas de trabalho. Este valor depende do tipo de óleo (mineral ou sintético) recomendado para cada máquina. Por fim, os rolamentos revelam-se dos órgãos mais importantes de uma unidade compressora de ar de parafuso. O número de horas de serviço ao fim das quais este órgão deve ser alterado depende de vários fatores: fadiga (depende do número de horas (velocidade constante) ou do número de rotações); má lubrificação; corrosão e excesso de temperatura, devendo ser inquirido ao fornecedor o período de mudança dos rolamentos (Novais, 1995).

A manutenção mecânica dos compressores de parafuso isentos de óleo difere, em parte, da manutenção dos compressores de parafuso lubrificados a óleo. Segundo o manual de intervenção em compressores isentos de óleo da Atlas Copco (2001), o filtro do ar deve ser removido, limpo e inspecionado semestralmente (a cada 4000 horas de trabalho), assim como lubrificados os rolamentos do motor de acionamento. Anualmente (8000 horas de trabalho) o filtro do ar, deve ser também substituído, bem como o filtro do óleo. O compressor deve ser limpo e inspecionado e as válvulas de segurança testadas. Por fim, após dois anos (16.000 ou 32.000 horas de trabalho) deve ser efetuada a mudança do óleo e a substituição do ventilador do compressor.

2.6.2 Manutenção dos Secadores de ar

Tal como as unidades compressoras, os secadores de ar também necessitam de um plano de manutenção, dependendo da sua tecnologia de funcionamento. Neste capítulo dar-se-á especial atenção à manutenção dos secadores de refrigeração e secadores de adsorção.

Os secadores de ar de refrigeração não requerem uma manutenção tão minuciosa quando comparada com a manutenção necessária dos compressores de ar. Contudo, é necessário cumprir alguns procedimentos, prevenindo possíveis avarias no decorrer do trabalho do equipamento. Assim, nos secadores arrefecidos a ar, as superfícies nervuradas do condensador devem ser escovadas e limpas regularmente. Complementarmente, a cada intervalo de seis meses, deve-se inspecionar e limpar os componentes internos do coletor de condensados (Atlas Copco, 1998).

O débito de fluido frigorígeno deve ser, periodicamente, verificado no visor. Em condições estáveis de carga nominal, o fluxo de líquido frigorígeno deve ser límpido. As flutuações de carga bruscas podem causar a formação temporária de bolhas. Um débito contínuo de bolhas indica uma falta de fluido frigorígeno ou uma restrição no sistema (Atlas Copco, 1998).

Para além dos cuidados de rotina, os trabalhos de manutenção e reparação, em particular nos circuitos de refrigeração, apenas devem ser efetuados por técnicos qualificados e com equipamento adequado (Atlas Copco, 1998).

2.6.3 Manutenção das Torres de Arrefecimento

As torres de arrefecimento são muitas vezes instaladas em áreas isoladas e a sua manutenção é, diversas vezes, negligenciada. É fundamental implementar e cumprir um plano de manutenção para que estas unidades funcionem com máxima eficiência e para que sejam assegurados longos anos de serviço.

O manual de manutenção da Evapco Inc (2008) fornece uma série de procedimentos que devem ser cumpridos para manter o bom funcionamento das torres de arrefecimento. Entre eles está o tratamento da água de recirculação. Em alguns casos esta água tem uma concentração de minerais tão elevada que a purga não consegue evitar a formação de calcário (Tomberlin, Dean, & Deru, 2018). Assim, torna-se importante controlar alguns parâmetros da água tais como: pH, dureza como CaCO_3 ⁵, alcalinidade como CaCO_3 e Cloreto como Cl, sendo que os parâmetros normativos se encontram representados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Composição química recomendada (Evapco, 2008)

Parâmetro	Gama
pH	6.5 a 8.0
Dureza como CaCO_3	50 a 300 ppm
Alcalinidade como CaCO_3	50 a 300 ppm

⁵ Carboneto de Cálcio.

Parâmetro	Gama
Cloreto como Cl	200 ppm Aço galvanizado

Tendo ainda como referência o manual acima referido, o filtro da bacia da torre de arrefecimento deve ser retirado e limpo mensalmente ou quando necessário; deve-se esvaziar a bacia trimestralmente para evitar a acumulação de sujidade; a boia e a respetiva válvula da água de reposição devem ser verificadas mensalmente; o nível de água na bacia deve estar sempre acima do filtro e da aspiração da bomba. Quanto ao sistema de distribuição de água pressurizado (bicos pulverizadores de água; torres de arrefecimento abertas), a Evapco recomenda uma verificação mensal para garantir que está a funcionar corretamente. A válvula de purga deve ser verificada semanalmente e a bomba de circulação deve ser mantida seguindo as indicações do fornecedor (Evapco Inc, 2008).

Quanto aos ventiladores, é aconselhado o seguinte plano de manutenção: Lubrificação da chumaceira de rolamentos do veio do ventilador, realizada a cada 1000 horas ou a cada 3 meses nas unidades axiais, e a cada 2000 horas ou 6 meses nas unidades centrífugas; verificação da tensão das correias de transmissão, ao ligar o equipamento e ao fim de algumas horas de trabalho, para corrigir qualquer desajuste inicial; limpeza mensal das persianas das entradas de ar para retirar detritos que possam obstruir a passagem de ar para a unidade e, por fim, verificação e limpeza, uma vez por ano, da tinta protetora do exterior da unidade, assim como das estruturas do motor do ventilador, da bomba e da grelha de ar (Evapco Inc, 2008).

2.7 A Energia num Sistema de Ar Comprimido

Segundo Mittenzwei, Bruckermann, Nordine e Harms (2018) o conceito de energia é um dos mais importantes da ciência e pode ser diferenciado em quatro aspetos básicos: transferência, transformação, conservação e degradação. Contudo, segundo Feynman, Leighton e Sands (1966), a energia não é algo concreto. A energia é muito mais do que uma grandeza, podendo assumir diversas formas. Quando temos de a quantificar ou medir, o seu resultado traduz-se sempre da mesma maneira, ou seja, em unidades de força pelo produto da distância (Coelho, 2009). Novais (1995) refere que o trabalho é o produto de uma força por um deslocamento, a potência é o trabalho por uma unidade de tempo e a energia é a capacidade de realizar trabalho.

Analogamente, no processo de compressão de ar, existe transformação da energia elétrica em mecânica e finalmente em pressão, traduzindo-se num elevado custo energético. Assim, torna-se imprescindível reduzir, tanto quanto possível, os consumos de energia, nas suas diferentes formas, associados a este processo (Novais, 1995).

2.7.1 Consumos de Energia Elétrica associados a um SAC

De acordo com Benedetti e colaboradores (2017) e Pöyhönen, Ahola, Ahonen, Hammo e Niemelä (2018), os sistemas de ar comprimido são um dos principais consumidores de energia elétrica na indústria Europeia e Mundial, sendo responsáveis por mais de 10% do consumo de eletricidade deste setor e, em alguns casos, atingindo os 30% (Estados Unidos da América (EUA); Mousavi, Kara, & Kornfeld, 2014). Na figura 2.13 é possível verificar o consumo de energia elétrica dos sistemas de ar comprimido da união europeia (80 TWh/ano; Radgen, 2006). Atualmente, em Portugal, o consumo associado aos sistemas de ar comprimido na indústria ronda os 2,8 TWh/ano (Radgen, 2006; Adene, 2017)

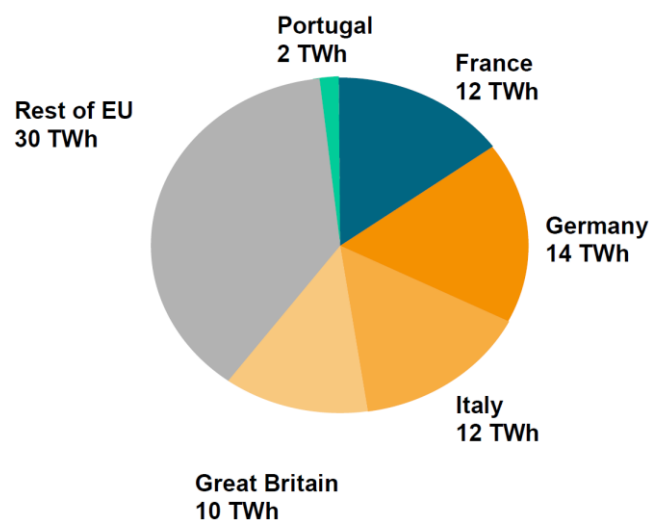


Figura 2.13 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de ar comprimido na União Europeia (Radgen, 2006)

Embora a obtenção de dados de consumo de energia elétrica específicos de cada país seja uma tarefa árdua, dada a escassez de bases de dados confiáveis, Fleiter e Eichhammer (2012) realizaram um estudo no qual reuniram informações sobre o consumo de eletricidade de setores industriais de vários países. Contudo, como a maioria dos países não diferencia o consumo de energia elétrica em diferentes setores, alguns resultados foram estimados, especialmente aqueles que se referem aos países em desenvolvimento. Os dados obtidos através deste estudo encontram-se representados por barras azuis na figura 2.14. Para avaliar estes resultados, e para validar a afirmação referida anteriormente, Unger e Radgen (2018) reuniram uma série de estudos efetuados sobre consumos de energia elétrica em alguns países do mundo (representados por barras vermelhas na figura 2.14). Assim, pode-se constatar que, por exemplo, na Índia, existe uma elevada dispersão de resultados (um fator de 4,5), comprovando as limitações dos estudos existentes nesta área. Por fim, pode-se afirmar que os EUA e a China revelam-se os maiores consumidores de energia elétrica, para a produção de ar comprimido.

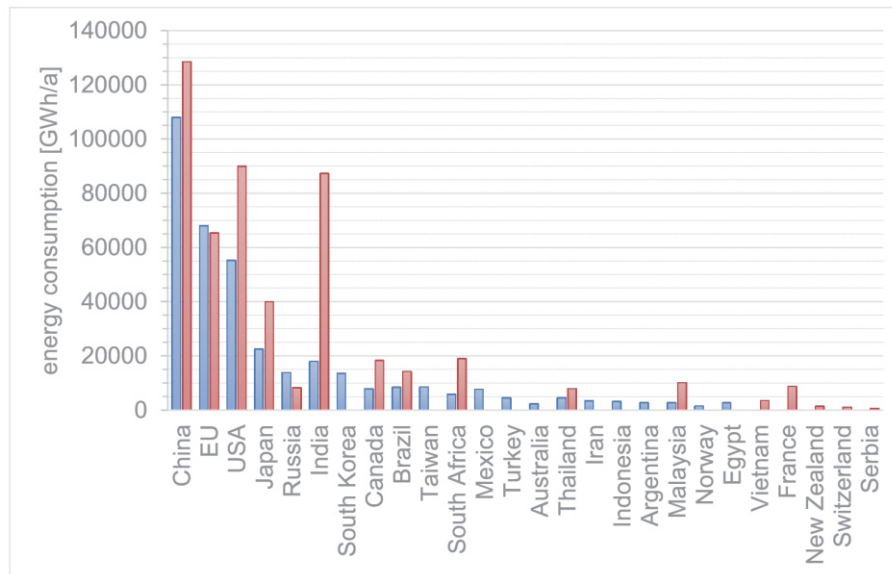


Figura 2.14 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de ar comprimido em países selecionados; azul (Fleiter e Eichhammer, 2012); vermelho (Unger & Radgen, 2018)

Um estudo realizado por Wünsch e colaboradores (2012) revela os consumos de energia elétrica na produção de ar comprimido, na Alemanha, representada por setores. Os resultados encontram-se representados na figura 2.15. Este estudo demonstra que os maiores consumidores de ar comprimido na Alemanha enquadram-se no setor automóvel, da borracha e do plástico.

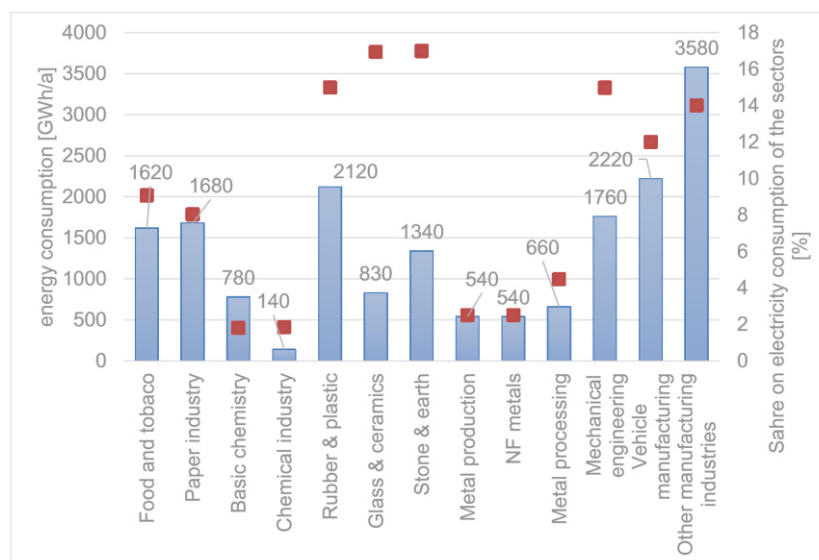


Figura 2.15 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de ar comprimido, por setor, na Alemanha (Wünsch et al., 2012)

2.7.2 Indicadores de Eficiência Energética

Os indicadores de eficiência energética são extremamente importantes quando é feito um estudo energético de uma central de produção de ar comprimido. Estes são

utilizados para avaliar e comparar intrinsecamente o desempenho energético de um conjunto de máquinas (secadores de ar, compressores e torres de arrefecimento).

De acordo com Bonfà, Salvatori, Benedetti, Introna e Ubertini (2017), algumas indústrias adotam alguns indicadores para efeitos de *benchmarking*. Especificamente, os dados mais significativos indicam a quantidade total de energia elétrica consumida pela empresa, a quantidade de energia elétrica utilizada para a produção de ar comprimido e a quantidade de ar comprimido produzido. Para isso são utilizados dois tipos de KPI's: o rácio entre a quantidade de energia elétrica utilizada para a produção de ar comprimido e o total de energia elétrica consumida; o rácio entre a quantidade de energia elétrica utilizada para a produção de ar comprimido e o volume de produção (expressão em tonelada de produto acabado).

Em 2017 foi realizado um estudo em Itália por Bonfà, Salvatori, Benedetti, Introna e Ubertini, onde foram selecionados oito setores da indústria nacional, com o objetivo de compreender o consumo específico de energia elétrica do ar comprimido dos mesmos. Os resultados revelam que, dentro da amostra, os setores cujo consumo de energia é mais elevado são: produtos químicos (31%) e indústria automóvel (15%). Em acréscimo, a indústria química e de produtos plásticos são aquelas que revelam o melhor consumo específico de energia elétrica.

Embora os indicadores referidos anteriormente sejam bastante importantes, este projeto requer a avaliação pormenorizada de cada equipamento em particular. Assim, é necessário prestar especial atenção ao indicador do consumo específico de energia elétrica para cada máquina.

2.7.2.1 Consumo Específico de Energia Elétrica

O consumo específico de energia elétrica é um indicador de energia comumente retratado na literatura para avaliar a eficiência energética de instalações industriais ou setores económicos. Este indicador, de uma forma genérica, pode ser calculado através da equação 2.7 (Nanduri, Nyboer, & Jaccard, 2002).

$$SEC_x = \frac{E_x}{P_x} \quad (2.7)$$

Onde: E: energia elétrica consumida pela atividade (x);

P: saída física produzida pela atividade (x).

Analogamente, na prática, o consumo específico de energia elétrica de um compressor pode ser calculado através da equação 2.7 em que, o termo (E) é a energia elétrica (kWh) consumida durante a compressão do ar, o termo (P) é o caudal volúmico de ar

comprimido (m^3/h) e o índice (x) é a atividade de compressão de ar (Rocha & Monteiro, 2014).

Não obstante, dado que o ar é um gás compressível, o seu volume varia com a sua pressão e com a sua temperatura. Assim, para colmatar esse problema, convencionou-se uma condição padrão expressa em Nm^3/h . Por exemplo: $600 Nm^3/h$, equivale a um sistema que proporciona $600 m^3/h$, expressos em condições normais (Royo, 1977).

É de referir que as condições normais variam segundo a área de influência tecnológica. Na zona europeia, a norma C.E.T.O.P. RP-44P, propõe como condições atmosféricas normais, uma temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$, uma pressão de $1,013\text{ bar}$ (1 atm) e uma humidade relativa de 65% , encontrando-se estas também especificadas na ISO R 554 (Royo, 1977).

2.7.3 Sistema de Ar Comprimido Energeticamente Eficiente

Um sistema de ar comprimido eficiente e otimizado energeticamente é aquele que garante a produção de ar comprimido necessária, com o mínimo consumo energético, tendo em conta a disponibilidade de recursos existentes (Adene, 2017).

A eficiência energética depende da seleção dos compressores, dado que são os principais consumidores de energia numa central de produção de ar comprimido. Estes equipamentos devem ser dimensionados de uma forma adequada à realidade dos consumos de cada unidade industrial. No entanto, posteriormente, será dada especial atenção a este importante aspeto (Šešlija, Ignjatović, & Dudić, 2012).

É importante referir que, por vezes, as soluções inovadoras e energeticamente mais eficientes podem apresentar custos iniciais superiores ao esperado. Contudo, este investimento inicial é amortizado num curto espaço de tempo, dada a redução do valor da fatura energética. Por outro lado, se a opção passar pelo menor investimento inicial, em detrimento de uma solução energeticamente mais eficiente, o custo energético durante a vida útil do equipamento é mais elevado (Šešlija, Ignjatović, & Dudić, 2012; Adene, 2017).

Na figura 2.16 estão representados os custos do ciclo de vida de um compressor. É possível constatar que os custos associados aos consumos de energia elétrica representam 80% dos custos totais do ciclo de vida de um compressor, sendo o investimento inicial e a manutenção, respetivamente, responsáveis pelos restantes 20% (Atlas Copco Airpower NV, 2015; Adene, 2017).

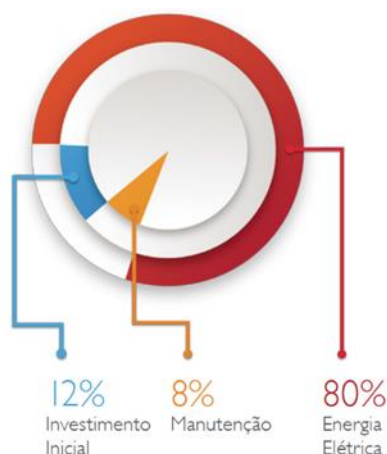


Figura 2.16 - Custos do ciclo de vida de um compressor (Adene, 2017)

2.7.4 Fatores que Influenciam o Consumo Específico de Energia Elétrica num SAC

O ar comprimido deve ser utilizado de uma forma racional e consciente. Quando não o é, pode originar desperdícios energéticos que podem surgir de diversas formas (Šešlija, Ignjatović, & Dudić, 2012). Assim, revelam-se como problemáticas as fugas de ar, as perdas de carga, a sobre pressurização da rede de ar comprimido e a falta de manutenção dos mesmos. Por outro lado, com o intuito de melhorar o consumo específico de energia elétrica, procura-se aproveitar aquela que é consumida num compressor, para outros processos, ao invés de a dissipar nos sistemas de refrigeração dos equipamentos. Não obstante, revela-se também benéfica a procura de uma otimização da seleção dos compressores (Rocha & Monteiro, 2014; Adene, 2017).

Nos subcapítulos seguintes são devidamente explorados cada um dos fatores que influenciam o consumo específico de energia elétrica, por forma a perceber, detalhadamente, de que modo interferem num sistema de produção de ar comprimido.

2.7.4.1 Seleção dos Compressores

A eficiência energética encontra-se diretamente relacionada com a utilização adequada dos compressores. Deste modo, antes de se decidir sobre a aquisição de novas máquinas deve-se ter em conta a realidade da instalação, para que cada equipamento funcione na sua zona ótima (Adene, 2017).

Seguidamente encontram-se apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização das três tecnologias de compressão de ar mais utilizadas na indústria, dada a sua relevância (Parafuso, Pistão e Centrífugo; tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Vantagens e Desvantagens dos principais tipos de compressores e ar (Sustainability Victoria, 2009; Process Industry Practices, 2013)

Compressor	Vantagens	Desvantagens
Pistão	Adequado para pressões elevadas; Tamanho relativamente pequeno; Custo inicial reduzido; Procedimentos de manutenção simples; Compressão multi-estágio eficiente.	Elevados níveis de ruído; Elevados custos de manutenção; Adequado para consumos pequenos; Requer uma base sólida.
Parafuso	Operação simples; Baixas temperaturas; Reduzida manutenção; Silencioso; Compacto; Livre de Vibrações; Tecnologia de velocidade variável disponível.	Elevados consumos de energia; Baixa qualidade do ar.
Centrífugo	Energeticamente eficiente; Grande capacidade de compressão; Silencioso; Elevada qualidade do ar.	Custo inicial elevado; Ineficiente quando opera em baixas capacidades de produção; Manutenção especializada; Apenas disponível com refrigeração a água.

A utilização de uma combinação de vários compressores pode oferecer um resultado mais eficiente (muito usual na indústria), consoante o perfil de consumos. Por exemplo, se o perfil de carga atingir um determinado nível de consumos e se existir um caudal flutuante ao longo do tempo acima desse patamar, é vantajoso o uso de uma unidade de velocidade fixa (FSD; compressor de parafuso de carga/vazio ou compressor centrífugo, dependendo do caudal de ar comprimido). Este tem como intuito, fornecer o consumo base, em conjunto com uma unidade de parafuso de velocidade variável (VSD) para se adaptar ao caudal flutuante (Sustainability Victoria, 2009; Mousavi, Kara, & Kornfeld, 2014). Complementarmente, esta configuração requer um sistema de controlo eficiente para otimizar os tempos de carga/vazio dos compressores FSD e a adaptabilidade do compressor VSD à flutuação dos consumos de ar comprimido (figura 2.17).

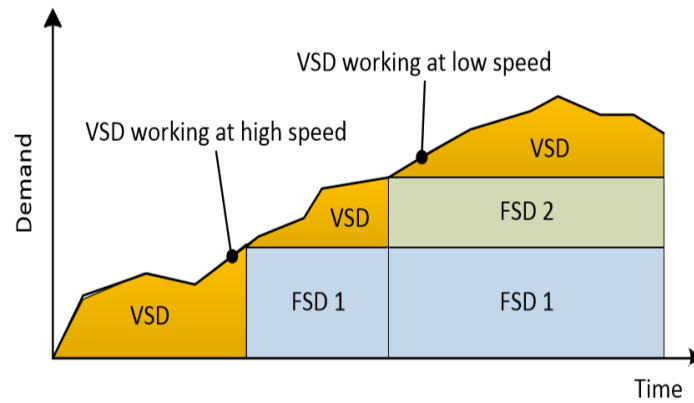


Figura 2.17 – Ilustração do controlo de um sistema de ar comprimido (Mousavi, Kara & Kornfeld, 2014)

Segundo Mousavi, Kara e Kornfeld (2014), a tecnologia VSD é uma opção promissora, quando a carga é dinâmica e flutua regularmente ou quando é utilizada para fornecer caudal de reposição. A figura 2.18 compara a eficiência energética dos compressores VSD e FSD para uma ampla faixa de saída de caudal de ar.

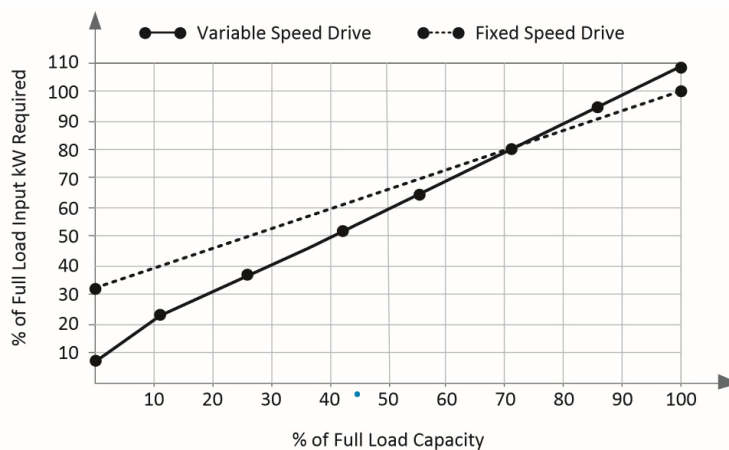


Figura 2.18 – Comparação da eficiência energética entre compressores VSD e FSD (Mousavi, Kara & Kornfeld, 2014)

Um compressor FSD, a trabalhar em carga total, revela-se energeticamente mais eficiente, pois consome menos energia elétrica do que um compressor VSD, para o mesmo caudal de ar. Por outro lado, um compressor VSD é mais adequado e energeticamente mais eficiente do que um FSD quando se encontra em carga parcial, uma vez que consome menos energia elétrica.

2.7.4.2 Pressão

A sobre pressurização afeta diretamente o rendimento da central de produção de ar comprimido. Quanto maior a pressão no sistema, maior será a perda de ar comprimido através de fugas (Martins, Delaiba, Bispo, Júnior, & Silva, 2010). Assim, a pressão de trabalho torna-se um fator crítico, pois afeta o consumo específico de energia elétrica, que aumenta com o aumento da pressão de trabalho (Rocha & Monteiro, 2014).

As pressões máxima e mínima de operação do sistema devem ser estabelecidas de forma a obter-se o ponto ideal de eficiência, sendo necessário, para isso, conhecer os dados técnicos dos equipamentos que compõem a instalação e ajustar os limites de forma prática durante a implementação do sistema de ar comprimido (Martins, Delaiba, Bispo, Júnior, & Silva, 2010).

A pressão de trabalho é regulada pelo ajuste do desarme do pressostato de controlo liga/desliga do compressor. Esta deverá estar próxima da pressão média de operação da linha. Uma regulação de pressão mais elevada, origina a que o compressor funcione mais tempo que o necessário (Rocha & Monteiro, 2014). Ainda segundo o mesmo autor, numa situação de projeto, deve-se considerar uma perda de carga máxima admissível de 0.8 bar, entre a pressão média de trabalho no ponto mais distante do sistema e a pressão que se ajusta no pressostato de controlo do compressor.

2.7.4.3 Seleção dos Secadores

A eficiência energética e a qualidade do ar comprimido encontram-se diretamente relacionadas com a seleção adequada dos secadores de ar. A seleção de um secador adequado para tratar o ar comprimido depende de requisitos específicos e da tolerância ao teor de humidade das máquinas que utilizam ar comprimido para laborar (Adene, 2017).

Grande parte das instalações industriais, dado os baixos requisitos de humidade, utilizam secadores de ar por refrigeração. Contudo, existem certos casos que exigem um ar comprimido de elevada qualidade (baixo ponto de orvalho) tais como, a indústria farmacêutica, laboratórios de pesquisa, hospitais. Nestes, são utilizados secadores por adsorção (Atlas Copco, 2018e).

O principal fator que leva à seleção adequada de um secador de ar é a identificação do ponto de orvalho desejado. Conforme referido anteriormente, os secadores de ar por refrigeração são capazes de fornecer um ponto de orvalho entre 3 °C e 5 °C, admissível para a maioria das indústrias (menor investimento). No entanto, conforme a precisão do processo, pode ser necessário reduzir o ponto de orvalho do ar comprimido para valores próximos dos - 70 °C. Nestas situações, a única opção é a seleção de secadores de adsorção regenerativos (maior investimento; Atlas Copco, 2018e).

Em suma, a necessidade de um tipo de secador de ar está dependente dos requisitos específicos de qualidade do ar para um determinado processo. Os secadores de ar desempenham um papel vital na obtenção de ar com qualidade, sendo menos provável que haja comprometimento do processo, resultando numa dispendiosa paragem de produção ou numa possível contaminação dos produtos. O investimento num adequado sistema de secagem pode resultar em elevadas poupanças económicas durante a vida útil do equipamento, influenciando a qualidade do produto final.

2.7.4.4 Rede de Distribuição

- Fugas de Ar

A maioria das perdas energéticas num sistema de ar comprimido têm-se revelado provenientes das fugas de ar (Anakhu, Bolu, Abioye, & Onyiagha, 2018). Segundo a Adene (2017) e Marshall e outros investigadores (2016) estas fugas representam, em média, cerca de 10% a 15% do consumo de ar comprimido, podendo, em alguns casos, superar estes valores (até 30/40%). Desta forma, torna-se muito importante a identificação das fugas e a eliminação das mesmas. Pequenas fugas são inevitáveis ainda que em redes bem dimensionadas e com manutenção adequada, contudo, é expectável que o seu valor não represente mais de 5% do consumo dos compressores. Todavia, em instalações de grandes dimensões, torna-se difícil cumprir estas especificações, dada a enorme quantidade de máquinas instaladas na zona fabril alimentadas com ar comprimido (Adene, 2017).

Revela-se crucial o foco em pontos críticos da rede de ar comprimido de forma a controlar possíveis fugas, como por exemplo: tubagens degradadas por corrosão, uniões de tubos, pontos de ligação através de “ligações rápidas”, mangueiras plásticas para alimentação de máquinas, cilindros pneumáticos e electroválvulas de comando pneumático (Marshall et al., 2016; Adene, 2017; Pöyhönen, Ahola, Ahonen, Hammo, & Niemelä, 2018).

Na figura 2.19 é possível verificar os caudais de fugas de ar comprimido tendo em conta a pressão do mesmo e o diâmetro do orifício da fuga.

Pressão Absoluta (bar)													
D (mm)	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar	9 bar	10 bar	12 bar	15 bar	20 bar	30 bar
0,1	0,00027	0,00036	0,00045	0,00054	0,00054	0,00072	0,00081	0,0009	0,00099	0,00117	0,00144	0,00188	0,00279
0,2	0,00109	0,00145	0,00181	0,00217	0,00252	0,00288	0,00324	0,0036	0,00396	0,00468	0,00575	0,00755	0,0111
0,3	0,00245	0,00326	0,00406	0,00487	0,00568	0,00649	0,0073	0,008105	0,00891	0,0105	0,013	0,017	0,0251
0,5	0,00681	0,00905	0,0113	0,0135	0,0158	0,018	0,0203	0,02255	0,0248	0,0292	0,036	0,0472	0,0696
1	0,0272	0,0362	0,0452	0,0541	0,0631	0,0721	0,0811	0,09005	0,099	0,117	0,144	0,188	0,279
1,5	0,0613	0,0815	0,102	0,122	0,142	0,162	0,183	0,203	0,223	0,263	0,323	0,425	0,627
2	0,109	0,145	0,181	0,217	0,252	0,288	0,324	0,36	0,396	0,468	0,575	0,755	1,11
3	0,245	0,326	0,406	0,487	0,568	0,649	0,73	0,8105	0,891	1,05	1,3	1,7	2,51
4	0,436	0,579	0,723	0,865	1,01	1,15	1,3	1,4425	1,585	1,87	2,3	3,02	4,45
5	0,681	0,905	1,13	1,35	1,58	1,8	2,03	2,255	2,48	2,93	3,6	4,72	6,96
6	0,981	1,304	1,63	1,95	2,27	2,6	2,92	3,245	3,57	4,22	5,18	6,8	10
8	1,75	2,32	2,89	3,46	4,04	4,62	5,19	5,765	6,34	7,5	9,2	12,1	17,8
10	2,72	3,62	4,52	5,41	6,31	7,21	8,11	9,005	9,9	11,7	14,4	18,8	27,9
12	3,92	5,22	6,5	7,78	9,09	10,4	11,68	12,99	14,3	16,9	20,7	27,2	40,1
15	6,13	8,15	10,2	12,2	14,2	16,2	18,25	20,275	22,3	26,3	32,3	42,5	62,7
20	10,9	14,5	18,1	21,7	25,2	28,8	32,4	36	39,6	46,8	57,5	75,5	111
25	17	22,6	28,2	33,8	39,5	45	50,7	56,3	61,9	73,1	90	118	
30	24,5	32,6	40,6	48,7	56,8	64,9	73	81,05	89,1	105	130		
35	33,4	44,4	55,3	66,3	77,3	88,3	99,3	110,15	121	144			
40	43,6	57,9	72,3	86,5	101	115	130	144,5	159				
45	55,2	73,3	91,3	110	128	146							
50	68,1	90,5	113	135									
55	82,4	109,5	136										
60	98,1	130,4											

Figura 2.19 - Caudal de fugas com base na pressão do ar comprimido e no diâmetro do orifício (Adene, 2017)

É possível constatar que, uma pressão de 6 bar e um orifício de 1 mm corresponde a um desperdício de 0,0631 m³/min.

Embora seja importante eliminar o maior número de fugas, em primeiro lugar é necessário localizá-las e medi-las. Para localizar as fugas de ar comprimido em ambientes ruidosos, recorre-se normalmente a aparelhos ultrassons, sem a necessidade de interromper a produção da fábrica (Dudić, Ignjatović, Šešlija, Blagojević, & Stojiljković, 2012a; Dudić, Ignjatović, Šešlija, Blagojević, & Stojiljković, 2012b). Os métodos tradicionais de deteção (por audição, com recurso a espuma de sabão) tornam-se pouco eficientes em ambientes ruidosos e de difícil acesso (Adene, 2017).

Quanto às medições das fugas de ar, estas podem ser realizadas por método direto ou por método indireto.

O método direto baseia-se na medição do caudal real através de um caudalímetro, num período de paragem da produção. O método indireto baseia-se numa estimativa grosseira, realizando o registo do tempo de queda de pressão de 1 bar, num volume estimado da rede (Adene, 2017). Alternativamente a este processo, pode-se registar o tempo de carga de um compressor de carga/vazio, num determinado período (paragem de produção), tendo como base a capacidade de referência desse compressor. Utilizando este método, o caudal de fugas pode ser calculado recorrendo à equação 2.8 (Adene, 2017; Pöyhönen, Ahola, Ahonen, Hammo, & Niemelä, 2018).

$$Q_f = Q_c \times \frac{t}{t_t} \quad (2.8)$$

Onde: Q_f : Caudal de fugas em m³/s;

Q_c : Capacidade do compressor em m³/s;

t : Tempo durante o qual o compressor laborou em carga em s;

t_t : Tempo total (carga/vazio) em s.

- Perdas de carga

As perdas de carga associadas ao ar comprimido são um fator que requer especial cuidado por parte das indústrias. As perdas de carga introduzidas pelas tubagens e respetivos acessórios ou coletores de uma rede de ar comprimido acarretam um custo energético significativo, que se manifesta 24 horas por dia, durante todo o ano (salvo paragens de produção), durante todo o ciclo de vida da instalação (Adene, 2017).

Quando as perdas de carga são muito elevadas, o compressor necessita de produzir ar a uma pressão suficientemente elevada, para colmatar as perdas existentes na rede de

tubagem, bem como atingir uma pressão mínima de operação das máquinas de processos (Rocha & Monteiro, 2014; Adene, 2017).

As perdas de carga surgem como consequência direta do aumento de velocidade do fluido no interior da tubagem (Amorim, Filho, & Oliveira, 2002). É expectável que ao longo dos anos os consumos tendam a aumentar, devido ao crescimento da capacidade de produção da fábrica, acentuando-se, assim, uma perda de carga da instalação. Outro fator que implica o aumento das mesmas deve-se à geometria da rede de distribuição (principalmente perdas de carga localizadas), sendo o crescimento de produção normalmente acompanhado por mudanças de *layouts*, causando crescimentos disformes da instalação (Saidur, Rahim, & Hasanuzzaman, 2009; Adene, 2017).

O tratamento do ar, variável mediante o tipo de compressor (lubrificado ou isento de óleo) e o tipo de secagem (refrigeração de adsorção), revela-se outro dos principais responsáveis pela perda de carga na instalação. Esta condição deve-se ao facto dos filtros de ar e dos secadores estarem associados a elevadas perdas de carga localizadas. Assim, verifica-se que quanto melhor a qualidade do ar requerida, maior a perda de carga associada ao tratamento do ar (Rocha & Monteiro, 2014; Adene, 2017).

Deste modo, devem ser instalados manómetros em vários pontos da rede (desde a produção até ao consumidor final), para quantificar as perdas de carga ao longo de toda a instalação, permitindo avaliar a condição dos coletores espalhados na rede e dos equipamentos auxiliares (tratamento do ar; Adene, 2017). É importante referir que cada bar de acréscimo no valor da pressão do SAC, implica um consumo adicional de 7% de energia eléctrica nos compressores.

2.7.4.5 Recuperação de Energia Térmica

Os níveis de temperatura disponíveis durante a fase de compressão do ar atmosférico são significativos e, através de recursos ao dispor de qualquer empresa, o aproveitamento de calor resulta sempre em poupanças energéticas muito significativas (Murgia, Valenti, Colletta, Costanzo, & Contaldi, 2017).

Cerca de 94% da energia eléctrica consumida num compressor industrial é convertida em calor, sendo esta, por norma, dissipada nos sistemas de refrigeração dos equipamentos (Marshall et al., 2016). Uma parte dos restantes 6% é dissipada por radiação, sendo que 4% permanece no ar comprimido. Com a unidade de recuperação de energia térmica, corretamente adaptada, é possível recuperar cerca de 50 a 94% dessa energia térmica dissipada no sistema de refrigeração (Adene, 2017; Marshall et al., 2016). A energia recuperada poderá ser utilizada para aquecer água (até 90 °C). Isto conduz a que haja uma poupança energética significativa no processo de fabrico e nos equipamentos auxiliares (figura 2.20; Adene, 2017).

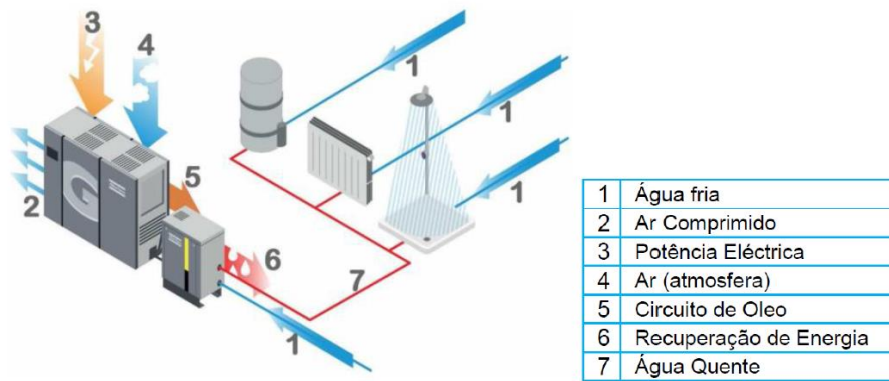


Figura 2.20 - Princípio de funcionamento do sistema de recuperação de energia (Adene, 2017)

A água torna-se um ótimo elemento de armazenamento de energia, dada a sua elevada inércia térmica, transportando-se facilmente e possuindo uma boa capacidade para ceder energia. Assim, é possível trocar o calor captado pelo óleo (no caso dos compressores lubrificados), na fase de compressão, utilizando esta energia para aquecer, como por exemplo, a água utilizada nas caldeiras de produção de vapor ou até no aquecimento de águas sanitárias (AQS; Novais, 1995; Saidur, Rahim, & Hasanuzzaman, 2009; Marshall et al., 2016). Desta forma, ocorre também uma redução substancial do tempo de trabalho e do consumo de energia elétrica das torres de arrefecimento, dado que o calor proveniente da compressão do ar é dissipado para outros processos, sendo desnecessário o seu arrefecimento forçado através destes equipamentos. Por meio destas medidas torna-se possível minimizar o custo do ar comprimido através de uma recuperação energética (Novais, 1995).

METODOLOGIA

3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

3.3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE

3 METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a metodologia adotada neste trabalho, que contempla as seguintes etapas: definição do problema, caracterização das instalações e descrição da metodologia de análise.

3.1 Definição do problema

É vulgar encontrarem-se instalações cuja exploração dos equipamentos de produção e tratamento de ar comprimido não é a mais eficiente, resultando em rendimentos de produção mais baixos do que seria expectável, advindo, como consequência, maiores consumos específicos de energia elétrica, ar comprimido de fraca qualidade e incremento do impacto ambiental. Isto, muitas vezes, deve-se também à idade avançada das máquinas e ao desfasamento que existe entre a pressão máxima de trabalho da máquina e pressão de trabalho real da mesma. Assim, é imprescindível o estudo dos consumos específicos de energia elétrica dos compressores e dos secadores de ar comprimido.

Por outro lado, uma das formas de otimizar a produção de ar comprimido é aproveitar a energia gerada na compressão do ar, sobre forma de calor, para o pré-aquecimento da água de alimentação das caldeiras de produção de vapor. Dessa forma, é necessário analisar o potencial térmico tanto do circuito de refrigeração nos equipamentos de produção de ar comprimido, como da instalação de abastecimento de água das caldeiras.

Assim, torna-se importante enfatizar que o projeto divide-se em duas partes: estudar a atual produção de ar comprimido de baixa pressão, calculando o consumo específico de energia elétrica das centrais e o custo do ar comprimido de baixa pressão e, por outro lado, estudar a possibilidade de recuperar parte da energia utilizada para a compressão do ar para aquecimento de outros processos. A solução a propor tem necessariamente de ser exequível e, por tal, a par de todo o estudo, é realizado um estudo do *layout* da instalação adaptado à central existente.

É de salientar que, no decorrer deste documento, é utilizada a nomenclatura utilizada na empresa “Ar comprimido de baixa pressão” e “Ar comprimido de alta pressão”, com pressões de operação de 6 bar e 10 bar, respetivamente.

Por último, é importante referir que este estudo é a continuação de um projeto de otimização da central de ar comprimido de alta pressão, realizado pelo autor aquando do seu estágio para obtenção do grau de licenciado, tendo este muitas ligações ao presente trabalho. Ao longo da exposição do trabalho realizado, serão evidenciadas algumas conclusões retiradas do estudo da central de ar comprimido de alta pressão.

3.2 Caracterização das instalações

Este estudo debruça-se sobre três instalações: produção de ar comprimido de baixa pressão, refrigeração dos equipamentos da produção de ar comprimido (baixa e alta pressão) e a água que abastece as caldeiras de produção de vapor. Em seguida, encontram-se descritas, sucintamente, cada uma delas.

Os compressores de ar trabalham, em alguns casos, de forma escalonada e noutros de forma contínua. A produção de ar comprimido de baixa pressão está dividida em três pontos de produção. Todos os compressores são arrefecidos através de água proveniente de diferentes torres de arrefecimento. Ao longo do estágio, realizou-se uma avaliação da produção de ar e fez-se um levantamento das necessidades dos utilizadores, de forma a otimizar a gestão dos compressores e melhorar o rendimento do sistema. Revelou-se pertinente avaliar o potencial térmico dos compressores, em termos de aproveitamento, para o aquecimento da água utilizada nas caldeiras de produção de vapor.

3.2.1 Instalação da produção de ar comprimido de baixa pressão

A instalação da produção de ar comprimido de baixa pressão pode ser dividida em dois pontos de produção: central de produção 1 e central de produção 2, dispostos em duas zonas distintas da fábrica.

- Central de produção 1

Na figura 3.1 está presente o esquema de princípio simplificado da central de produção 1.

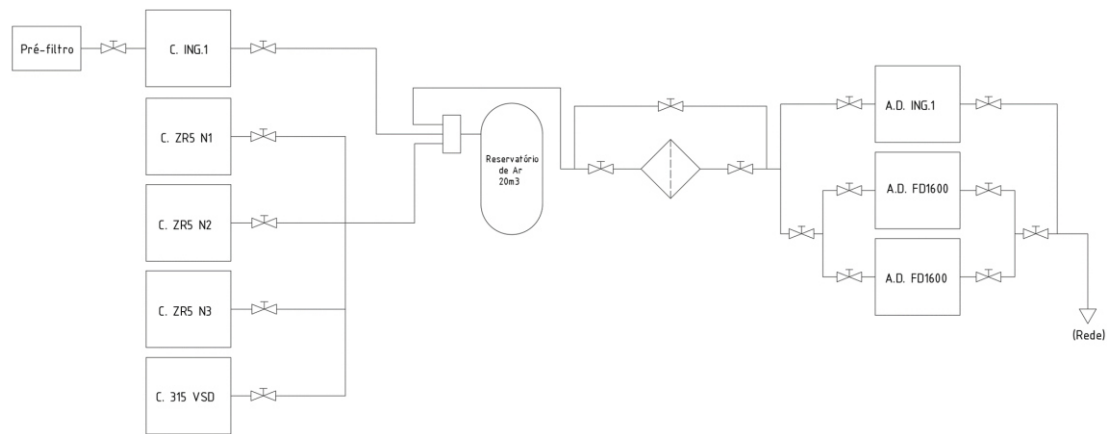


Figura 3.1 - Esquema de princípio simplificado da instalação da central de produção 1

O princípio de funcionamento da central de produção 1 consiste no funcionamento escalonado de dois compressores de parafuso carga/vazio (ZR5 1 e ZR5-2; figura 3.2; tabela 3.1), sendo estes auxiliados por um compressor de parafuso de velocidade variável (ZR315 VSD; figura 3.3; tabela 3.2). Por outro lado, existe um compressor centrífugo (Ingersoll 1; figura 3.4; tabela 3.3) que está parado, sendo necessário proceder ao seu arranque em situações de indisponibilidade de qualquer outro compressor (questões de manutenção). Por último, o compressor ZR5-3 encontra-se inoperacional. Todos os compressores mencionados são do tipo isentos de óleo.

O ar comprimido de baixa pressão produzido nesta central é encaminhado para um reservatório de 20 m³, que se encontra instalado na rede, funcionando como um *buffer*. Daí, segue para o sistema de tratamento de ar comprimido composto por três secadores de ar comprimido que, em condições normais, apenas se encontra em operação o secador Ingersoll 1 (figura 3.5; tabela 3.4). Os outros dois equipamentos de secagem do ar comprimido (Atlas Copco FD1600; figura 3.6; tabela 3.5) funcionam como *backup* ao secador anteriormente mencionado.



Figura 3.2 – Atlas Copco ZR5-53

Tabela 3.1 – Especificações técnicas do compressor Atlas Copco ZR5-53

Especificações técnicas	
Pressão máxima de trabalho	8 bar
Potência do motor	500 kW
Caudal de ar máximo	4.140 Nm ³ /h
Consumo específico de energia elétrica teórico	0,102 kWh/Nm ³



Figura 3.3 - Atlas Copco ZR315 VSD

Tabela 3.2 – Especificações técnicas do compressor Atlas Copco ZR315 VSD

Especificações técnicas	
Pressão máxima de trabalho	10,5 bar

Potência do motor	315 kW
Caudal de ar mínimo/máximo	760/2736 Nm ³ /h
Consumo específico de energia elétrica teórico mínimo/máximo	0,103/0,118 kWh/Nm ³



Figura 3.4 – Ingersoll Rand Centac C950 (Ingersoll 1/Ingersoll 2; Ingersoll Rand, 2006)

Tabela 3.3 – Especificações técnicas do compressor Ingersoll 1/Ingersoll 2

Especificações técnicas	
Pressão máxima de trabalho	10 bar
Potência do motor	900 kW
Caudal de ar máximo	9.468 Nm ³ /h
Consumo específico de energia elétrica teórico	0,089 kWh/Nm ³



Figura 3.5 – Secador Ingersoll Rand D22800IN-W (Ingersoll 1/Ingersoll 2; Ingersoll Rand, 2008)

Tabela 3.4 – Especificações técnicas do secador Ingersoll 1

Especificações técnicas	
Potência	52 kW
Caudal de ar máximo	22.800 Nm ³ /h
Fluido Frigorígeno	R 407c



Figura 3.6 – Secador Atlas Copco FD1600

Tabela 3.5 – Especificações técnicas do secador Atlas Copco FD1600

Especificações técnicas	
Potência	19 kW
Caudal de ar máximo	5.760 Nm ³ /h
Fluido Frigorígeno	R 404a

- Central de produção 2

Na figura 3.7 está presente o esquema de princípio simplificado da central de produção 2.

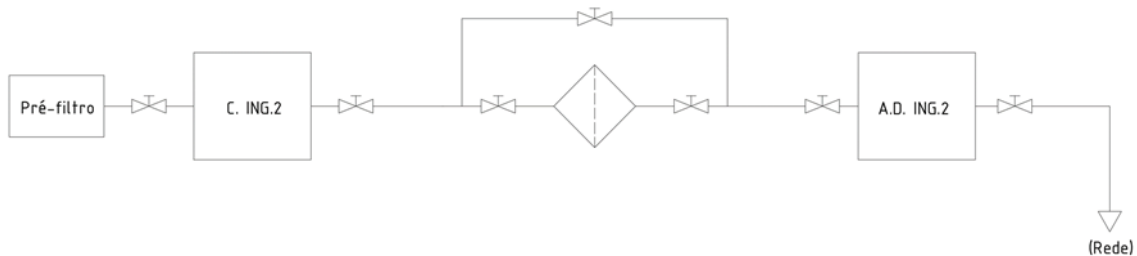


Figura 3.7 - Esquema de princípio simplificado da instalação da central de produção 2

O princípio de funcionamento da central de produção 2 consiste num funcionamento contínuo do compressor centrífugo (Ingersoll 2; figura 3.4; tabela 3.3) que tem como função garantir a base das necessidades de ar comprimido de baixa pressão, estando em constante funcionamento. O ar comprimido é tratado pelo secador de refrigeração Ingersoll 2 (figura 3.5; tabela 3.6), sendo posteriormente entregue à rede e misturado com o ar comprimido produzido na central de produção 1.

Tabela 3.6 – Especificações técnicas do secador Ingersoll 2

Especificações técnicas	
Potência	19 kW
Caudal de ar máximo	13.500 Nm ³ /h
Fluido Frigorigéneo	R 407c

3.2.2 Instalação da rede de refrigeração dos equipamentos da produção de ar comprimido

A instalação da rede de refrigeração dos equipamentos de produção de ar comprimido é composta por uma série de máquinas com o objetivo de garantir o bom funcionamento dos equipamentos utilizados para a produção de ar comprimido. Esta instalação pode ser dividida em três redes distintas.

Na figura 3.8 é possível verificar um esquema de princípio simplificado da instalação de refrigeração dos equipamentos presentes na central de produção 1 (com a exceção do compressor Ingersoll 1), juntamente com os compressores destinados à produção de ar comprimido de alta pressão (estão interligados à mesma rede de refrigeração).

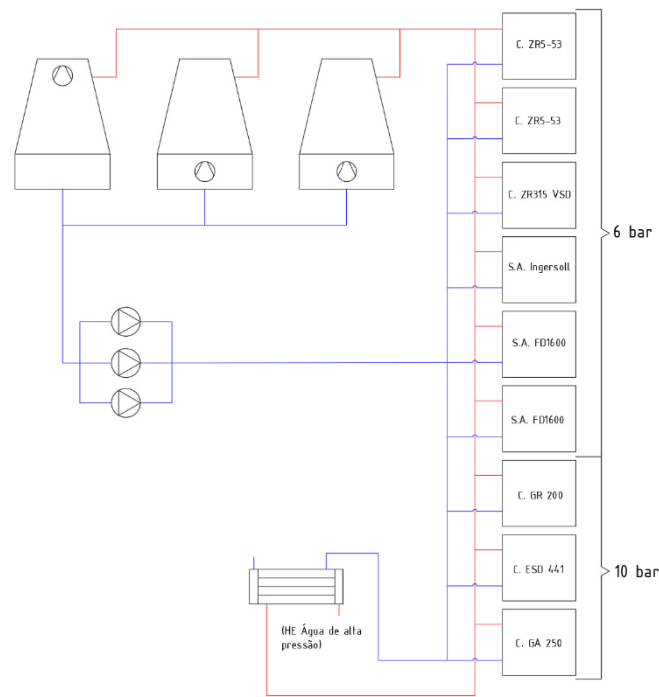


Figura 3.8 – Esquema de princípio simplificado da instalação de refrigeração dos equipamentos da central de produção 1

Para além dos compressores de ar comprimido de baixa pressão apresentados anteriormente, existem três compressores de alta pressão de parafuso lubrificadas a óleo (9 bar; refrigerados a água). O compressor ESD441, cujo funcionamento reúne o maior número de horas de trabalho, o compressor GA250, que auxilia o anterior e, por fim, o compressor GR200, que se encontra maioritariamente parado, utilizado apenas quando algum dos anteriores se encontra em trabalhos de manutenção. O tratamento do ar de alta pressão é garantido por dois secadores FD450, arrefecidos a ar.

A água de refrigeração é arrefecida através do uso de três torres de arrefecimento que estão interligadas em paralelo. Complementarmente, a circulação da água é conseguida através de um grupo de três bombas, duas com um funcionamento constante e uma utilizada como apoio.

No caso em estudo estão presentes três torres de arrefecimento, duas torres Alfa Laval (de tiragem forçada, de contacto direto e equipadas com um ventilador axial) e uma torre Uniclima (de tiragem induzida e de contacto direto).

Os dois compressores Ingersoll têm o seu próprio sistema de refrigeração, constituído por uma torre de arrefecimento de tiragem induzida de contacto indireto da marca Baltimore.

3.2.3 Instalação da rede de água de *make-up* das caldeiras

No que diz respeito à instalação de fornecimento de água para as caldeiras, esta não é apenas composta pelo que está representado na figura 3.9. Contudo, encontra-se apresentada apenas a parte importante ao desenrolar do projeto.

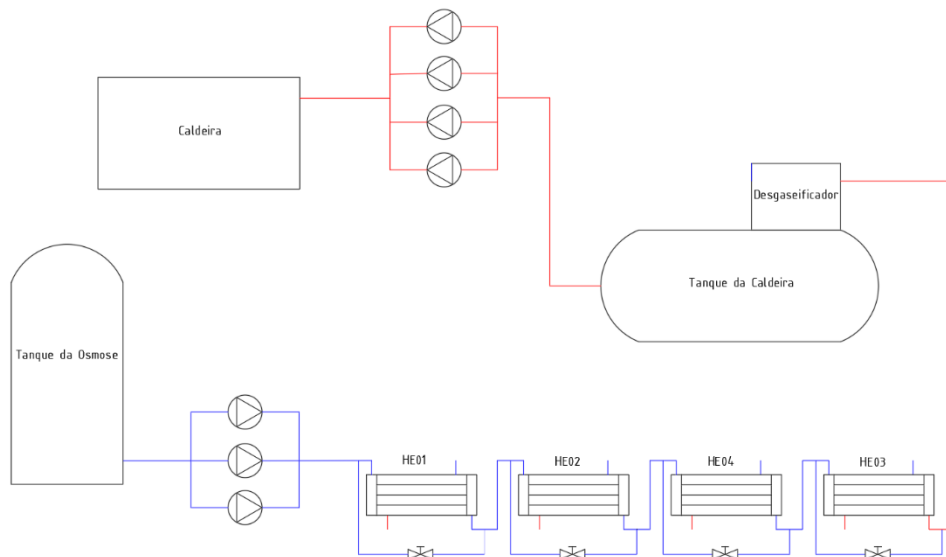


Figura 3.9 – Esquema de princípio simplificado da instalação do fornecimento de água para a caldeira

Numa primeira fase, a água é bombeada do tanque da osmose, através de um grupo de três bombas instaladas em paralelo: duas em funcionamento constante e uma utilizada como apoio. Antes de chegar ao desgaseificador, a água percorre quatro permutadores de calor. O permutador HE01 tem como função, para além de aquecer a água que segue para o tanque da caldeira, arrefecer a água residual, proveniente de outros processos já existentes. O permutador HE02 arrefece purgas contínuas (condensados sujos) que seguem para o esgoto. O permutador HE04 tem como função arrefecer a água utilizada nas caldeiras de produção de vapor, para evitar a sua evaporação precoce. Por fim, o permutador HE03 aproveita os gases a alta temperatura, produzidos pelo desgaseificador, para aquecer a água que chega ao tanque das caldeiras de produção de vapor.

Existe também um grupo de quatro bombas instaladas em paralelo que têm como função transportar a água que está no tanque de armazenamento para as caldeiras.

3.3 Descrição da metodologia de análise

Numa primeira fase é necessário estudar e conhecer todas as instalações sobre as quais recai a análise, dominar o modo de funcionamento de todos os equipamentos presentes na área em estudo e saber qual a influência de cada um na instalação.

Durante este projeto é estudada, de forma minuciosa, toda a produção de ar comprimido de baixa pressão. Para este estudo é relevante ter em atenção as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica (consumos diários). É também importante analisar o funcionamento de cada equipamento ou grupo de equipamentos, de forma a detetar possíveis ineficiências energéticas durante os diferentes períodos de laboração.

A pedido das entidades supervisoras na empresa acolhedora, de forma a conhecer de um modo pormenorizado as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica, analisa-se também os consumos durante as mudanças de turno, períodos de almoço, momentos de paragem de produção e consumos nos diferentes setores da fábrica (Misturação, Construção, Moldes, Vulcanização, Inspeções Finais e Agro). É ainda analisada a pressão de fornecimento e as perdas de carga na produção de ar comprimido de baixa pressão. Complementarmente, realiza-se uma análise à qualidade do ar comprimido de baixa pressão em vários pontos da rede de distribuição. Na tabela 3.7 estão presentes os tipos e frequências de recolha dos dados que serão posteriormente tratados e analisados.

Tabela 3.7 – Tipos de dados analisados referentes ao estudo da produção de ar comprimido de baixa pressão

Tipos de dados	Período	Frequência
Consumos de ar diários	jan 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar nas trocas de turno	jan 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar durante o período de almoço	jan 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar nas paragens de produção	jan 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar da Construção + Misturação	mar 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar da Vulcanização	mar 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar na limpeza de Moldes	jan 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar na Inspeção Final 1	jan 2017 até dez 2017	15 min
Consumos de ar na unidade de pneus agrícolas	01/07/2018 até 18/11/2018	15 min
Consumos de ar na Inspeção Final 2	06/04/2018 até 31/05/2018	15 min

Tipos de dados	Período	Frequência
Pressão do ar comprimido de baixa pressão	jan 2017 até dez 2017	15 min
Perdas de carga na produção do ar comprimido	19/11/2018 até 26/11/2018	30 seg
Qualidade do ar comprimido (TradeLabor)	24/04/2019	-
Auditoria da Atlas Copco	30/01/2019 até 06/02/2019	1 seg
Energia elétrica consumida pelos equipamentos	jan 2018 até out 2018	15 min
Consumos de ar do ContiSeal	27/03/2019 até 02/04/2019	5 min
Energia elétrica consumida pelo compressor do ContiSeal	27/03/2019 até 02/04/2019	5 min

Após realizadas todas as análises à produção de ar comprimido de baixa pressão e identificadas possíveis ineficiências energéticas, determina-se o consumo específico de energia elétrica da produção de ar comprimido de baixa pressão, assim como o seu respetivo custo. Em seguida, elaboraram-se as medidas para a otimização energética da produção de ar comprimido de baixa pressão, propondo a substituição dos atuais equipamentos, incluindo o cálculo da estimativa de poupança energética da medida de substituição e propostas de *layout* da nova central de produção. Por último, realiza-se a análise de investimento à otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão.

Em acréscimo, é também estudada a possibilidade de implementação de um permutador de calor na instalação de refrigeração dos compressores. Este permutador teria como função aproveitar o calor proveniente do arrefecimento dos equipamentos para aquecer a água utilizada nas caldeiras de produção de vapor. Esta solução teria impacto não só na poupança de vapor que é utilizado para aquecer a água das caldeiras, como também na redução da energia elétrica gasta nas torres de arrefecimento. Deste modo, passaria menos caudal nas mesmas e não haveria a necessidade dos ventiladores estarem em constante funcionamento.

A avaliação dos consumos de ar comprimido de baixa pressão do presente estudo tem por base o ano 2017, período durante o qual não se verificou qualquer anomalia na produção, sendo, por isso, considerado um ano “tipo” pela Continental. Por outro lado, no que concerne à avaliação do perfil de funcionamento das máquinas e das análises

elétricas efetuadas, esta baseia-se no ano 2018, período durante o qual decorreu o estágio que originou o presente trabalho.

Analisa-se o consumo de ar comprimido de baixa pressão nos momentos de paragem de produção, tendo por base os três turnos existentes (00h-8h; 8h-16h e 16h-00h) nos dias úteis, sendo ao fim de semana (sábado: 00h-8h; 8h-19h e 19h-6h de domingo; domingo: 6h-14h e 14h-00h). A análise dos consumos durante o período de almoço é realizada horariamente (11h-12h; 12h-13h; 13h-14h) e nas mudanças de turno é realizada retirando o consumo referente ao valor da mudança de turno de cada dia, presente na base de dados.

O estudo de cada equipamento revelou-se uma limitação, pela dificuldade que se encontrou na medição de alguns dados. Este impedimento deve-se a vários fatores tais como, ar comprimido com uma elevada quantidade de água (medição realizada antes da secagem do ar), caudalímetros termomássicos que acarretam um elevado erro dentro destas condições e falta de calibração dos caudalímetros para assegurar a qualidade dos dados obtidos. Contudo, obteve-se auxílio da empresa Atlas Copco que realizou um estudo complementar, no qual analisou pormenorizadamente cada equipamento de forma a obter o melhor resultado final possível. É importante referir que o papel da empresa auditora termina nas propostas comerciais. Todo o restante trabalho de análise de viabilidade técnico-económica é da total responsabilidade do autor.

Por último, é importante salientar que os valores presentes na base de dados fornecida (com frequência de 1 hora ou de 15 minutos), são valores médios do intervalo da frequência utilizada.

3.3.1 Equipamentos de medida

Os valores recolhidos que permitiram todas as análises provêm de um *software* de aquisição de dados implementado na empresa que recebe informação de uma série de equipamentos de medida (caudalímetros e contadores elétricos). Na tabela 3.8 encontram-se os tipos de contadores utilizados para os diferentes dados recolhidos. Os *datasheets* dos equipamentos encontram-se no Anexo 2.

Tabela 3.8 – Equipamentos de medida

Tipo	Marca/Modelo	Função	Erro
Caudalímetro	<i>Endress+Hauser Promag</i>	Caudal de ar comprimido da Vulcanização	$\pm 0,5\%$ ou 1mm/s
Caudalímetro	<i>Hochhuth Endys Air</i>	Caudal de ar comprimido de baixa	$\pm 3\%$

Tipo	Marca/Modelo	Função	Erro
		pressão (Central de produção 1 e 2 e restantes secções)	
Contador elétrico	<i>Hochhuth ECM 12070-250</i>	Compressores de ar	$\pm 1\%$ ⁶
Contador Elétrico	<i>Hochhuth ECM 13070-250</i>	Secadores de ar	$\pm 1\%$ ⁶

⁶ Erro de medida calculado através da equação $P = V \times I$ (Tensão com um erro de 20% e intensidade de corrente com erro de 5%).

DESENVOLVIMENTO

4.1 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DAS NECESSIDADES DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

4.2 PRESSÃO DE FORNECIMENTO DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

4.3 QUALIDADE DO AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

4.4 PERDAS DE CARGA NA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

4.5 FUGAS DE AR NA REDE DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

4.6 ANÁLISE DO PERFIL DE FUNCIONAMENTO DOS COMPRESSORES

4.7 IDENTIFICAÇÃO DAS PROPOSTAS DE SOLUÇÃO

4 DESENVOLVIMENTO

Ao longo deste capítulo descreve-se o desenvolvimento do trabalho que leva à obtenção dos resultados finais, que contemplou a análise, tendo em conta as seguintes etapas: necessidades de ar comprimido, pressão de fornecimento de ar comprimido de baixa pressão, qualidade do ar comprimido, perdas de carga e fugas de ar na rede de produção de ar comprimido de baixa pressão, análise do perfil de funcionamento dos compressores e a elaboração da proposta de solução.

Após o estudo minucioso da produção de ar comprimido de baixa pressão e da identificação das medidas de melhoria (entre setembro de 2018 e janeiro de 2019), contactou-se uma empresa auditora que, com base no diagnóstico realizado pelo autor, auxiliou na elaboração das propostas de solução (proposta comercial e simulação energética dinâmica da nova central; entre fevereiro de 2019 e junho de 2019).

É de salientar que este estudo tem por base um outro realizado pelo autor que avaliou a possibilidade de transferência de um compressor de velocidade variável (Atlas Copco ZR315 VSD) da linha de produção de ar comprimido de baixa pressão para a produção de ar comprimido de alta pressão. Este fator torna-se crucial para o desenrolar deste projeto, pois é retirado o único compressor com variação de velocidade da linha de produção de ar comprimido de baixa pressão, tornando-se a produção de ar comprimido energeticamente ineficiente e com problemas de disponibilidade.

4.1 Caracterização e análise das necessidades de ar comprimido de baixa pressão

Neste subcapítulo são analisados detalhadamente os consumos de ar comprimido de baixa pressão da fábrica durante o ano de 2017. Esta análise é realizada às duas centrais de produção em particular (central de produção 1 e 2), comparando-as sempre que oportuno.

Numa primeira fase são analisados os consumos de ar comprimido de baixa pressão diários e mensais. Esta análise permite conhecer as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da unidade fabril utilizado nas várias fases do fabrico dos pneus (Misturação, Construção, Moldes, Vulcanização, Inspeção Final) e ainda o ar comprimido

de baixa pressão que abastece a unidade de fabrico de pneus agrícolas. Refira-se que, por indicação da Continental Mabor, a solução para a otimização da central (aproveitar/manter máquinas já existentes ou adquirir novos equipamentos) deve ser dimensionada para o pico de consumo de ar comprimido da fábrica.

Numa segunda fase, a pedido das entidades supervisoras da Continental Mabor, são, ainda, analisadas pormenorizadamente as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica em diversos momentos particulares: trocas de turno, período de almoço, paragens de produção e consumos nos diferentes setores da fábrica. Esta análise tem por objetivos: dar à empresa, de forma detalhada, filtrada e concisa, as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica; conhecer os pequenos consumidores de ar comprimido de baixa pressão durante as paragens de produção, e perceber as possíveis quebras de consumos de ar comprimido durante as trocas de turno e horários de almoço. Estas quebras de consumo podem ser um fator determinante na ineficiência da central de ar comprimido de baixa pressão devido ao facto dos compressores realizarem arranques inesperados, por falta de capacidade de adaptação das máquinas às mudanças bruscas de necessidades de consumo.

Nas figuras 4.1 e 4.2 apresentam-se os diagramas de funcionamento das duas centrais de produção de ar comprimido de baixa pressão, central de produção 1 e central de produção 2, respetivamente.

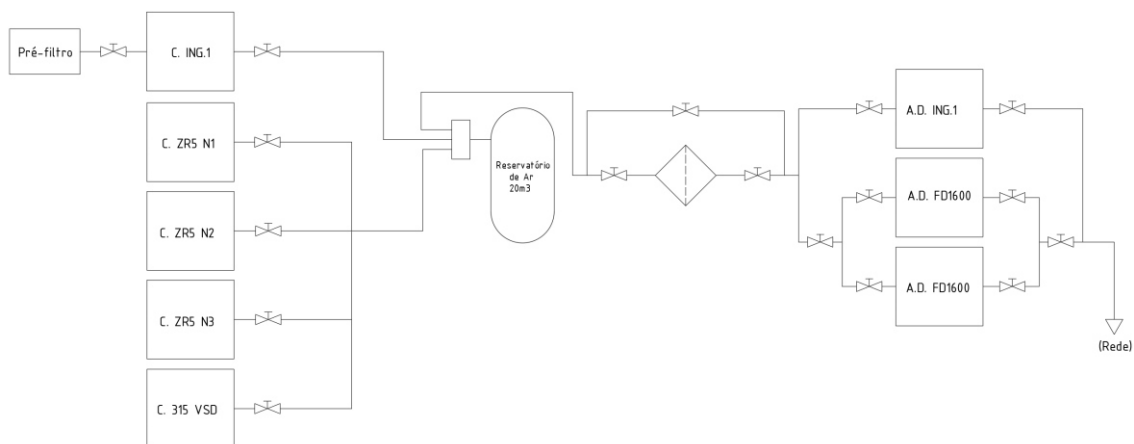


Figura 4.1 – Esquema de princípio simplificado da central de produção 1

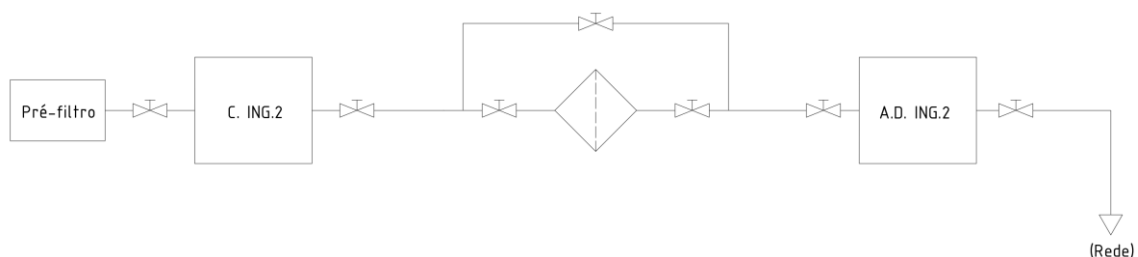


Figura 4.2 - Esquema de princípio simplificado da central de produção 2

A leitura do caudal de ar comprimido foi procedida através do caudalímetro *Hochhuth Endys Air*, localizado na tubagem, após o tratamento final do ar comprimido. Este aparelho de medida apresenta um erro de $\pm 3\%$ do valor que consta no dispositivo de medida (quando em condições ideais de funcionamento).

4.1.1 Consumos diários mensais

Considerando o ano de 2017 como um ano típico em termos de consumos de ar comprimido de baixa pressão é analisado o valor máximo, o mínimo e a média do consumo em cada mês.

Realizou-se a análise diária de dados com uma frequência de 15 minutos, tanto da central de produção 1 como da central de produção 2. Tal, permite o estudo mais aprofundado dos picos de consumo (máximos), o que se torna realmente relevante analisar, para que se possa obter uma melhor solução para o problema proposto.

A análise dos valores está dividida em três partes: na primeira, realiza-se uma análise ao perfil de consumo de um mês tipo para a central de produção 1 e para a central de produção 2. Numa segunda fase, realiza-se uma comparação do comportamento das duas centrais em simultâneo (o mesmo mês). Por último, são apresentados os consumos mensais de todo o ano de 2017, assim como o respetivo perfil gráfico anual dos consumos de ar comprimido de baixa pressão.

- Central de Produção 1

Para a análise da produção de ar comprimido da central 1, foi selecionado o mês de maio. Este foi o selecionado, por apresentar a média de consumos de ar comprimido de baixa pressão mais elevada, assim como o maior pico do ano de 2017 (excluindo os períodos no qual o compressor Ingersoll 1 está em funcionamento). Os restantes meses encontram-se no Anexo 3.

O gráfico presente na figura 4.3 contém a informação referente aos consumos diários do mês selecionado. A tabela com os valores presentes no gráfico também se encontra no mesmo anexo.

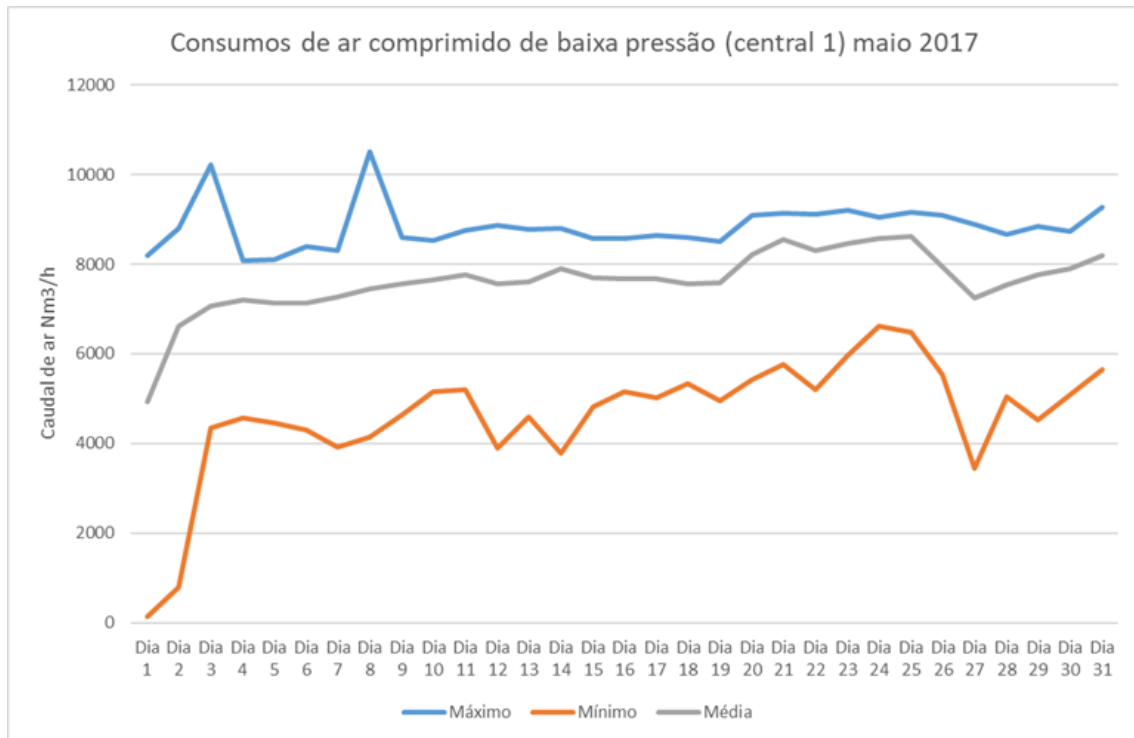


Figura 4.3 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão do mês de maio de 2017 (Central de Produção 1)

O mês de maio revelou-se o período com o pico máximo de consumo de ar comprimido de baixa pressão de todo o ano de 2017 (10.510,30 Nm³/h), com uma média de (7.622,07 Nm³/h).

Nos dias 3 e 8 de maio existiu uma quebra da produção da central 2, o que levou ao arranque de um dos compressores Atlas Copco ZR5, habitualmente parado. É de salientar que, nestes dois dias, o compressor Ingersoll 1 não arrancou. Em suma, é importante analisar o comportamento da central de produção 1, excluindo os esporádicos contributos do compressor Ingersoll 1, nos quais, toda a produção de ar comprimido de baixa pressão é alocada nesta central.

Através da análise gráfica do perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão conclui-se que existe uma considerável disparidade entre os valores mínimos e máximos. Este comportamento é expectável pois, funcionando a central de produção 2 como a base de produção e a central de produção 1 como um segundo patamar, cabe a esta realizar a modulação do perfil de consumo, acompanhando as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica. Complementarmente, o facto da central de produção 1 estar dotada de variação de velocidade, é um fator importante para a disparidade de valores mencionados anteriormente. Por último, é de referir que no mês de maio ocorreu apenas uma paragem de produção (1 de maio).

- Central de Produção 2

Para a análise da produção de ar comprimido da central 2, foi selecionado o mês de janeiro. Este foi escolhido pois apresenta um perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão estável, contribuindo para uma melhor análise do papel que esta central tem na produção de ar comprimido de baixa pressão da fábrica. Os restantes meses encontram-se no Anexo 4, bem como a tabela com os valores presentes no gráfico.

O gráfico presente na figura 4.4 contém a informação referente ao consumo diário do mês selecionado.

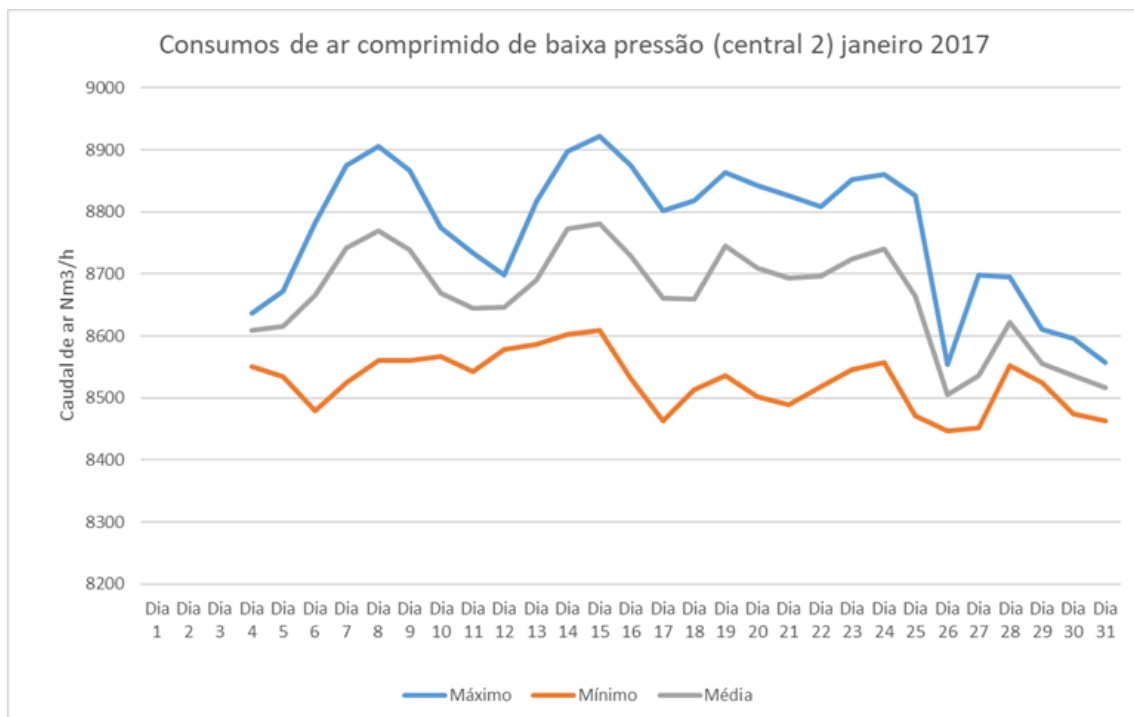


Figura 4.4 – Consumos de ar comprimido de baixa pressão do mês de janeiro de 2017 (Central de Produção 2)

O mês de janeiro revelou-se o período com a terceira média de consumo mais elevada do ano (8.665,78 Nm³/h) com um máximo de 8.921,94 Nm³/h atingido no dia 15.

Através da análise gráfica do perfil de produção da central 2 denota-se uma reduzida disparidade entre os valores mínimos e máximos, o oposto quando comparado com o perfil de produção da central 1. Dado o tipo de compressor (centrífugo) verifica-se um comportamento constante ao longo do mês, comprovando-se também a capacidade de variação de velocidade deste tipo de compressores. Por outro lado, este perfil mais regular é também resultado da constituição do seu parque de máquinas (composta por um compressor em constante funcionamento), ao contrário da central de produção 1 (composta por três compressores com arranque automático e um compressor com arranque manual) que apresenta um perfil mais irregular. Por último, é de referir que no mês de janeiro a produção de ar comprimido de baixa pressão na central 2 apenas

se iniciou no dia 4 de janeiro. Até então, com exceção do dia 1 de janeiro (paragem de produção), toda a produção de ar comprimido de baixa pressão foi assegurada pela central 1.

- Comparação entre a central de produção 1 e 2

Através da análise do perfil de produção de ar comprimido de baixa pressão, em períodos homólogos, da central 1 e da central 2 é possível ter uma perceção do comportamento simultâneo das mesmas. Assim, selecionou-se o mês de junho, no qual foi atingido o máximo absoluto da produção de ar comprimido da central 1.

Os gráficos presentes na figura 4.5 (central de produção 1) e na figura 4.6 (central de produção 2) contêm as informações referentes aos consumos diários do mês selecionado.

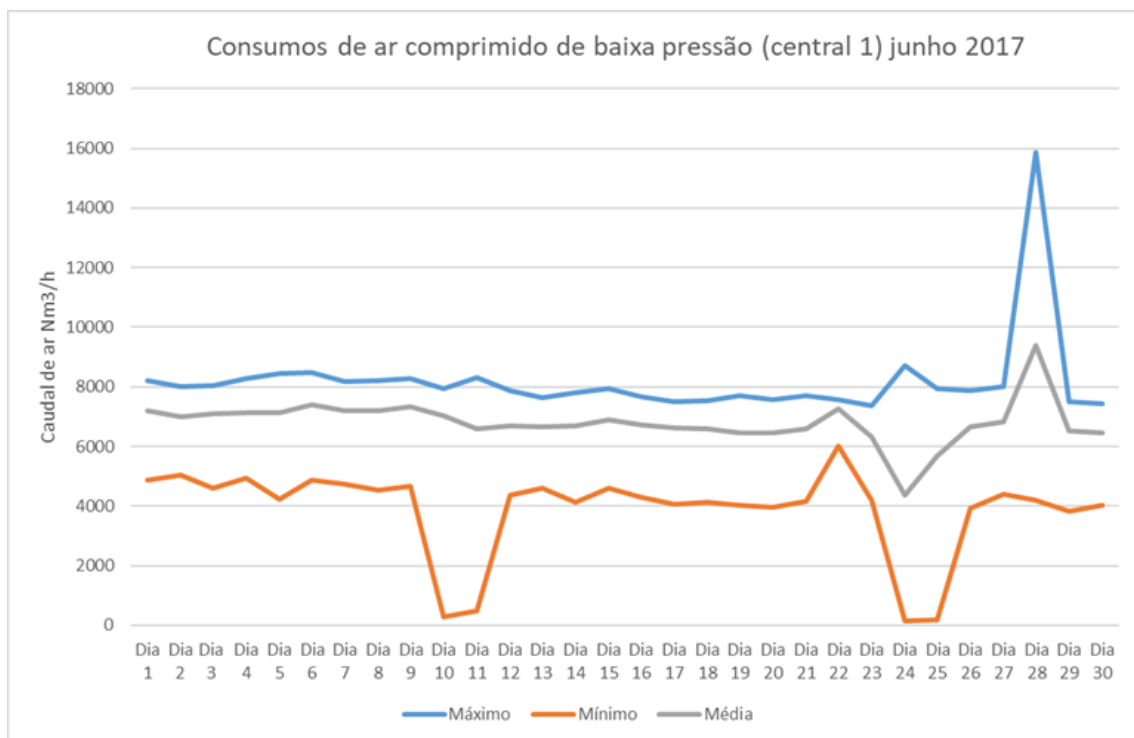


Figura 4.5 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão do mês de junho de 2017 (Central de Produção 1)

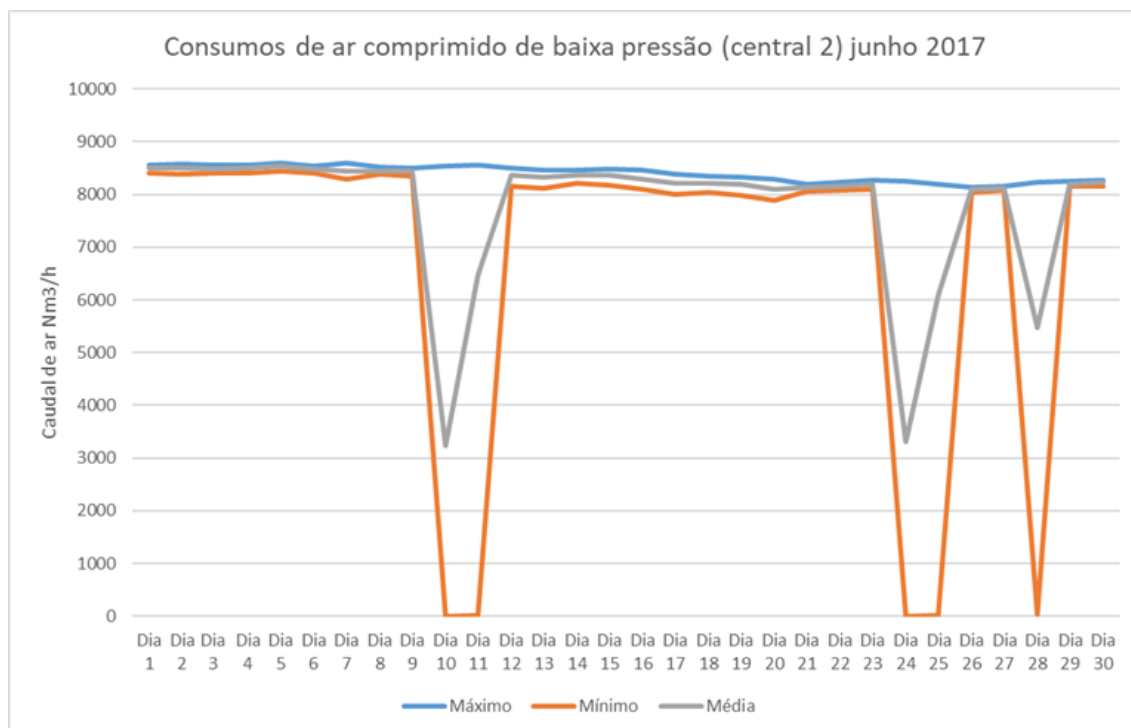


Figura 4.6 – Consumos de ar comprimido de baixa pressão do mês de junho de 2017 (Central de Produção 2)

O mês de junho revelou-se o período no qual foi atingido o máximo absoluto da produção de ar comprimido de baixa pressão da central 1 (15.878,17 Nm³/h) no dia 28. Nesse mesmo dia repara-se na existência de uma paragem de produção da central 2, tendo-se deslocado toda a produção de ar comprimido de baixa pressão para a central 1, sendo necessário realizar o arranque do compressor Ingersoll 1.

Complementarmente, denota-se a diferença entre a estabilidade do comportamento das duas centrais, por motivos anteriormente descritos. Não obstante, é de referir que no mês de junho ocorreram duas paragens de produção (10 de junho e 24 de junho).

Por fim, conclui-se que o *backup* da central de produção 2 encontra-se assegurado, embora de forma manual, através do compressor Ingersoll 1, presente na central de produção 1. Assim, esta revela-se inteiramente disponível para assegurar todas as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica.

Na tabela 4.1 e na tabela 4.2 são apresentados os consumos mensais da central de produção 1 e 2, respetivamente, de todo o ano de 2017.

Tabela 4.1 – Consumos mensais de ar comprimido de baixa pressão (central 1)

Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1)			
	Máximo	Mínimo	Média
	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h
janeiro	14.245,07	0	6.129,70

	Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1)		
	Máximo	Mínimo	Média
	Nm³/h	Nm³/h	Nm³/h
fevereiro	8.526,90	2.427,00	6.377,10
março	8.671,50	3.177,77	6.232,89
abril	8.398,77	0	5.873,41
maio	10.501,30	144,20	7.622,07
junho	15.878,17	164,08	6.807,33
julho	13.980,33	2.825,83	6.132,13
agosto	12.593,73	0	4.580,30
setembro	13.965,83	2.931,07	6.170,42
outubro	11.404,03	0	5.688,35
novembro	13.742,73	308,87	4.953,34
dezembro	7.373,30	0	2.492,02

Tabela 4.2 - Consumos mensais de ar comprimido de baixa pressão (central 2)

	Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2)		
	Máximo	Mínimo	Média
	Nm³/h	Nm³/h	Nm³/h
janeiro	8.921,94	8.447,01	8.665,78
fevereiro	8.839,00	8.309,26	8.580,00
março	8.717,38	7.881,69	8.559,12
abril	8.856,68	8.079,50	8.466,19
maio	8.908,86	0	8.509,18
junho	8.606,62	0	7.750,44
julho	8.358,56	0	8.145,47
agosto	8.926,57	0	6.250,78
setembro	9.069,76	8.488,15	8.828,80
outubro	9.235,21	0	7.691,23
novembro	9.325,30	0	8.736,20
dezembro	9.477,08	0	5.212,01

No gráfico da figura 4.7 e da figura 4.8 encontram-se o perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão da central 1 e 2, respetivamente, isentos de qualquer filtro, durante todo o ano de 2017.

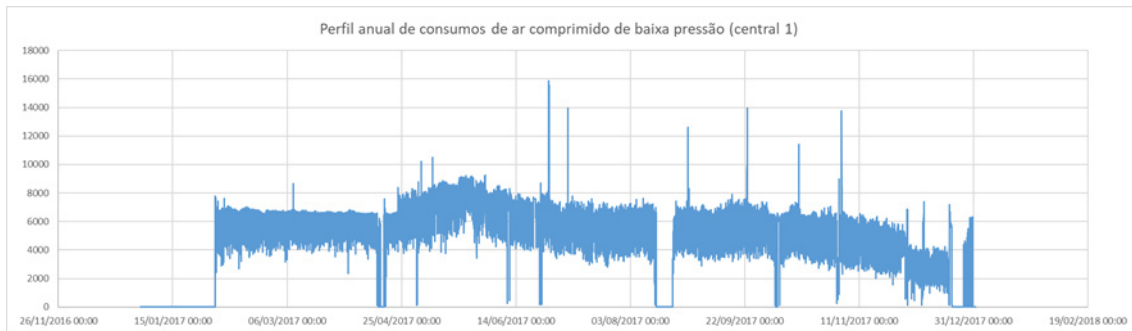


Figura 4.7 - Perfil de consumos do ano de 2017 de ar comprimido de baixa pressão (central de produção 1)

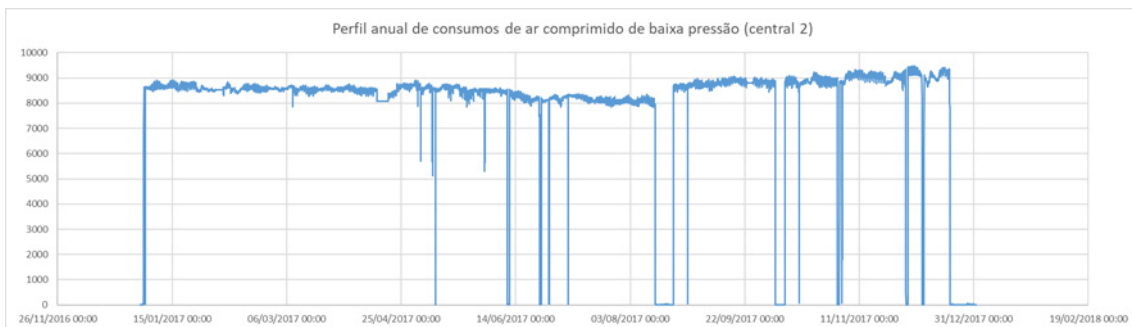


Figura 4.8 - Perfil de consumos do ano de 2017 de ar comprimido de baixa pressão (central de produção 2)

Em suma, pode-se afirmar que os valores da central de produção 1 oscilam de forma significativa, tendo, assim, um perfil bastante irregular. Pelo contrário, a central de produção 2 apresenta valores mais estáveis, tendo, assim, um perfil mais estável. Em acréscimo, é de salientar que, ao aproximar do final do ano, existe um decréscimo da produção de ar comprimido na central 1 e um aumento na central de produção 2. É também notório o aumento de produção de ar comprimido de baixa pressão da central 1 durante o mês de maio.

4.1.2 Trocas de turno, período de almoço, paragens de produção

- Trocas de turno

Foram analisados os consumos de todos os meses de 2017, durante as três trocas de turno diárias (8h, 15h e 00h) excetuando-se os seguintes turnos de fim de semana: sábado: 00h-8h; 8h-19h e 19h-6h de domingo; domingo: 6h-14h e 14h-00h. Foram analisados de forma minuciosa os dados referentes às horas de mudança de turno, isto é, em média, os 15 minutos que antecedem a hora de entrada/saída (Ex: consumo referente à troca de turno das 08h é a média dos valores entre as 07:46h e as 08:00h).

- Central de produção 1

Para analisar a influência das trocas de turno na produção de ar comprimido de baixa pressão na central 1, selecionou-se o mês de maio, o mesmo período analisado no capítulo anterior. Este mês foi, novamente, o período selecionado para a realização

desta análise, pois não existem paragens de produção (com exceção do dia 1 de maio) mantendo assim a coerência nas análises efetuadas.

No gráfico da figura 4.9 estão presentes os dados referentes a todas as trocas de turno do mês de maio. Os gráficos dos restantes meses e as respetivas tabelas podem ser consultados no Anexo 5.



Figura 4.9 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão nas trocas de turno de maio de 2017 (central 1)

Tendo em conta os dados acima apresentados, verifica-se que, na troca de turno das 00h, existe um pico mensal de 6.664,04 Nm³/h, uma média de 5.077,21 Nm³/h e um mínimo de 783,13 Nm³/h (de dia 1 para o dia 2 de maio, durante a paragem de produção). Na mudança de turno das 08h constata-se um consumo máximo mensal de 9.173,06 Nm³/h, uma média de 5.402,07 Nm³/h e um mínimo de 3.847,82 Nm³/h. Por fim, na troca de turno das 16h existe um pico mensal de consumo de 8.878,97 Nm³/h, uma média de 5.920,27 Nm³/h e um mínimo de 3.285,87 Nm³/h. É importante referir que os picos de consumo atingidos durante as trocas de turno das 08h e das 16h sucederam-se em momento de paragem da central de produção 2.

Durante as trocas de turno aos fins de semana (06h, 14h e 19h), os resultados demonstram que não existe uma diferença significativa, quando comparados com os consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as trocas de turno semanais. É de salientar que durante os fins de semana, as mudanças dos operários de mão de obra contratada não têm os mesmos horários dos colaboradores afetos à empresa. Dado o desfasamento de horários ao fim semana, seria expectável a existência de um maior equilíbrio no consumo de ar comprimido de baixa pressão.

○ Central de produção 2

Para analisar a influência das trocas de turno na produção de ar comprimido de baixa pressão na central 2, selecionou-se o mês de janeiro, mês utilizado para analisar a produção de ar comprimido diária desta central no capítulo anterior. Este mês foi o período selecionado para a realização desta análise, mantendo, desta forma a coerência

nas análises anteriormente efetuadas. No gráfico da figura 4.10 estão presentes os dados referentes a todas as trocas de turno do mês de janeiro.



Figura 4.10 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão nas trocas de turno de janeiro de 2017 (central 2)

Perante o perfil de produção de ar comprimido de baixa pressão durante as trocas de turno na central 2, no mês de janeiro, contata-se que, com exceção dos dias 1, 2 e 3 (paragens de produção), este é praticamente constante. Complementarmente, é importante salientar que a máquina encontra-se em permanente funcionamento, comportamento que seria expectável devido ao facto de este tipo de compressor (centrífugo) não estar munido de um controlo carga/vazio, presente nos compressores de parafuso, e, por isso, efetuando apenas uma pequena variação de velocidade. Em suma, pode-se afirmar que este compressor desempenha um papel fundamental na produção de ar comprimido de baixa pressão da fábrica, pois é ele que realiza o primeiro patamar de produção.

- Período de almoço

Foram concretizadas análises aos consumos de ar comprimido de baixa pressão referentes ao período de almoço. É de frisar que apenas é efetuada análise dos consumos de ar durante a hora de almoço na central de produção 1. Os consumos de ar comprimido durante este período na central de produção 2 mantêm-se inalterados, tal como acontece durante as trocas de turno. Assim, optou-se por focar a análise da influência da hora de almoço na central de produção 1.

A análise debruça-se no mês de setembro do ano de 2017, apresentando este mês um perfil de consumos bastante regular, não existindo qualquer paragem de produção e não estando em nenhum momento a central de produção 2 parada⁷. Foram averiguados os perfis de consumo durante as três horas do dia em que existem movimentações para almoço (11h/12h; 12h/13h; 13h/14h) do mês de setembro. É possível verificar os

⁷ Nos restantes meses do ano, através da observação dos dados não filtrados, apresentam valores próximos do mês de janeiro, tornando-se, assim, desnecessária a sua análise.

consumos de ar de baixa pressão durante a hora de almoço deste mês no gráfico da figura 4.11.

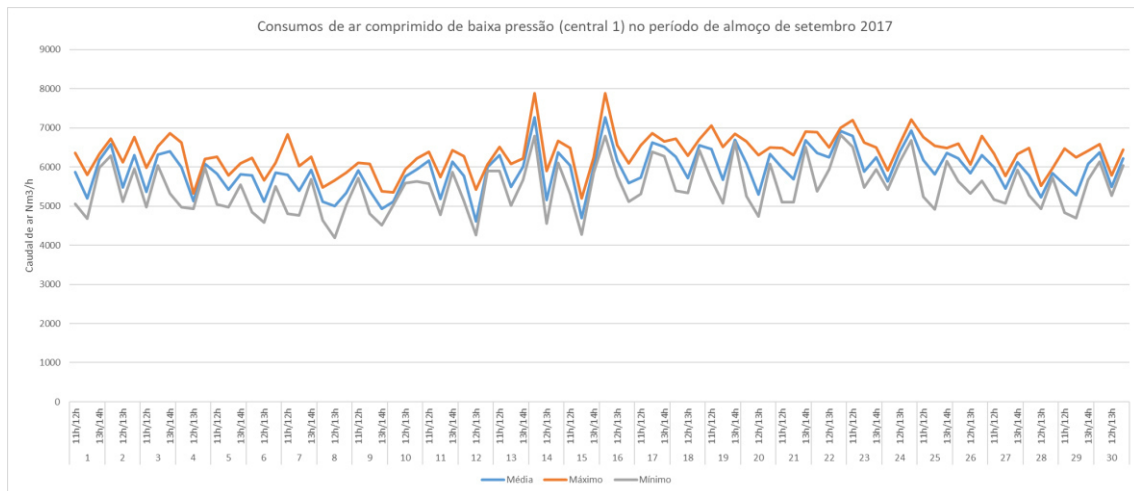


Figura 4.11 – Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as horas de almoço no mês de setembro de 2017

Através da análise deste gráfico é possível verificar que o valor do consumo máximo mensal de ar comprimido de baixa pressão entre as 11h e as 12h é de 7.891,57 Nm³/h, com uma média de 6.054,69 Nm³/h e um mínimo de 4.639,40 Nm³/h. Entre as 12h e as 13h o valor máximo é de 6.865,20 Nm³/h, com uma média de 5.540,45 Nm³/h e um mínimo de 4.196,17 Nm³/h. Por último, entre as 13h e as 14h verifica-se um valor máximo de 7.214,80 Nm³/h, sendo o valor médio 6.157,06 Nm³/h e o mínimo de 4.513,14 Nm³/h.

Depois de analisadas as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica durante o período de almoço, conclui-se que não existe uma diferença significativa face ao consumo durante o período normal de trabalho, quando comparado com os valores constatados durante as trocas de turno. Verifica-se, igualmente, que o período onde existe mais movimentação para almoço é entre as 12h e as 13h. Assim, é possível afirmar que a gestão da paragem para almoço, por parte dos trabalhadores, é realizada de forma a não afetar a produtividade da empresa.⁸

- Paragens de produção

Uma última análise dos consumos de ar comprimido de baixa pressão recai sobre todas as paragens de produção existentes no ano de 2017. Durante estas paragens continuam a existir consumos de ar comprimido durante certas horas do dia.

⁸ Para uma melhor compreensão desta análise é possível ver os resultados deste mês tabelados no Anexo 6.

Concretizou-se uma análise diária, com ênfase em três momentos distintos: 00h-08h; 08h-16h e 16h-00h. Estas horas correspondem aos turnos habitualmente realizados ao longo da semana, tornando o estudo mais rigoroso, por forma a compreender as fases do dia de paragem de produção, nas quais a fábrica consumiu ar comprimido de baixa pressão. Selecionou-se, assim, a paragem de produção do Natal do ano 2017, como fase de análise, por se revelar a principal paragem de produção do ano. É de referir que, uma vez mais, foram realizadas análises separadas da central de produção 1 e 2.

○ Central de produção 1

No gráfico da figura 4.12 encontram-se os dados referentes ao período do Natal da central de produção 1.

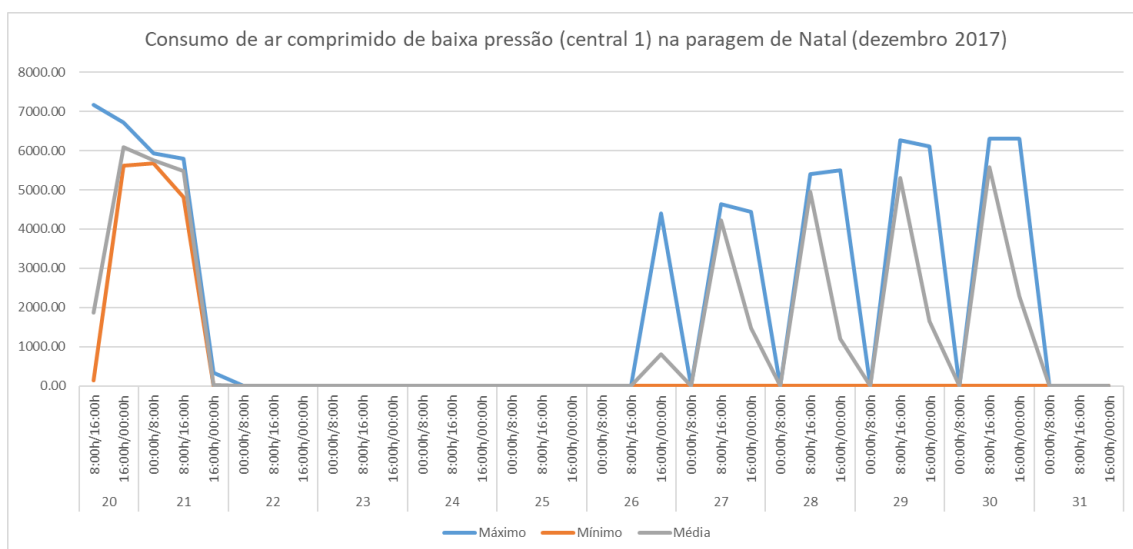


Figura 4.12 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão durante a paragem de produção do Natal de 2017 (central de produção 1)

No início desta paragem, até dia 21 do mês de dezembro, os consumos de ar comprimido de baixa pressão foram significativos. Estes variam entre valores de pico de 343,1 Nm³/h (entre as 16h e as 00h do dia 21) e 7.168,50 Nm³/h (entre as 08h e as 16h do dia 20). Os valores médios oscilam entre os 20,74 Nm³/h (entre as 16h e as 00h do dia 21) e os 6.089,5 Nm³/h (entre as 16h e as 00h do dia 20). Existem ainda valores relevantes do dia 26 ao dia 31, com valores de pico entre os 4.406,40 Nm³/h (entre as 16h e as 00h do dia 26) e 6.306,60 Nm³/h (entre as 08h e as 16h do dia 30). Os valores médios oscilam entre os 810,30 Nm³/h e os 5.579,60 Nm³/h, registados em iguais períodos dos valores máximos descritos anteriormente. É de salientar que, neste período, não existe qualquer registo de consumos de ar comprimido no turno das 00h às 08h. Por fim, é de referir que desde o dia 22 até ao dia 25 não se registaram quaisquer consumos de ar comprimido de baixa pressão na fábrica.

As tabelas e gráficos das análises referentes às restantes paragens de produção do ano de 2017 são possíveis de consultar no Anexo 7.

○ Central de produção 2

No gráfico da figura 4.13 é possível verificar os dados referentes ao período do Natal da central de produção 2.

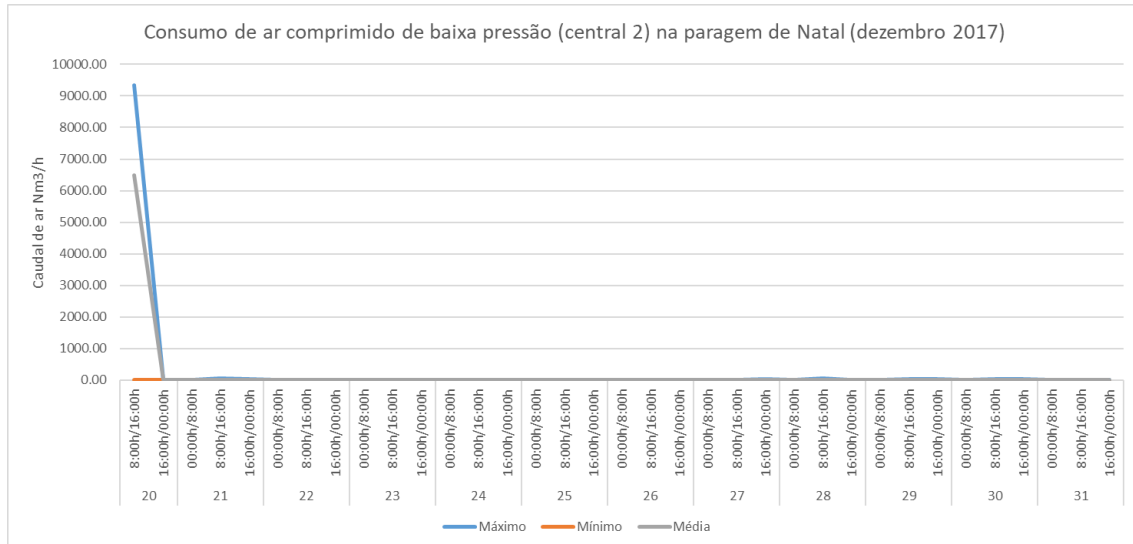


Figura 4.13 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão durante a paragem de produção do Natal de 2017 (central de produção 2)

Durante este período de paragem verifica-se um decréscimo de consumo entre as 16h e as 00h do dia 20 de dezembro. Durante o restante período da paragem de produção, não houve qualquer consumo de ar comprimido associado à central de produção 2, encontrando-se esta parada. Salienta-se que, em certos momentos, surgem consumos espontâneos no momento em que a central 1 está a produzir ar, podendo existir erros de medição justificáveis pela oscilação de pressão na tubagem.

É possível concluir que durante as paragens de produção ocorre a paragem da central de produção 2, encontrando-se a central de produção 1 responsável por abastecer todos os consumidores de ar comprimido de baixa pressão da fábrica durante este período. Esta opção revela-se vantajosa, pois a tecnologia presente nos compressores da central de produção 1 (Velocidade Variável e Carga/Vazio) consegue adaptar a produção de ar comprimido às reais necessidades dos consumidos finais, tornando a produção de ar mais eficiente.

As tabelas e gráficos das análises referentes às restantes paragens de produção do ano de 2017 encontram-se no Anexo 8.

4.1.3 Consumos de ar comprimido nas várias fases de produção dos pneus

Como já foi referido anteriormente, a fábrica está dividida em secções, sendo importante avaliar as necessidades de ar comprimido de baixa pressão nas várias fases do fabrico dos pneus (Misturação, Construção, Moldes, Vulcanização, Inspeção Final 1 e 2) e ainda o ar comprimido de baixa pressão que abastece a unidade de fabrico de pneus agrícolas. Foram analisadas as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da preparação dos Moldes e da Inspeção Final durante todo o ano de 2017. Quanto à Vulcanização, foi realizado o estudo a partir do mês de março de 2017, devido à inexistência de dados referentes a janeiro e fevereiro. Já na Misturação e Construção, os consumos de ar comprimido foram analisados em conjunto, pois não existe nenhum caudalímetro dedicado a estas duas secções. Assim, para a realização do cálculo foi subtraído ao total de ar comprimido de baixa pressão da fábrica os totais dos consumos de todas as outras secções. É importante frisar que, inevitavelmente, o erro associado a esta análise é bastante superior quando comparado com o erro referente à análise das outras secções.

No final do ano de 2017 iniciou-se a produção de pneus agrícolas, tendo-se verificado um aumento gradual das necessidades de ar comprimido de baixa pressão. Deste modo, optou-se por analisar os dados de consumos desta unidade referentes ao ano de 2018, mais propriamente desde o dia 1 de julho de 2018 até ao dia 18 de novembro do mesmo ano. Por fim, existiu a criação de um novo setor da Inspeção Final, localizada num ponto distinto da fábrica (denominada por Inspeção Final 2). A análise aos consumos da Inspeção Final 2 foi possível apenas para o período de 6 de abril a 31 de maio, período no qual foi instalado um caudalímetro que permitiu avaliar o respetivo consumo.

No gráfico da figura 4.14 é possível verificar o perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão associado à Misturação e Construção.

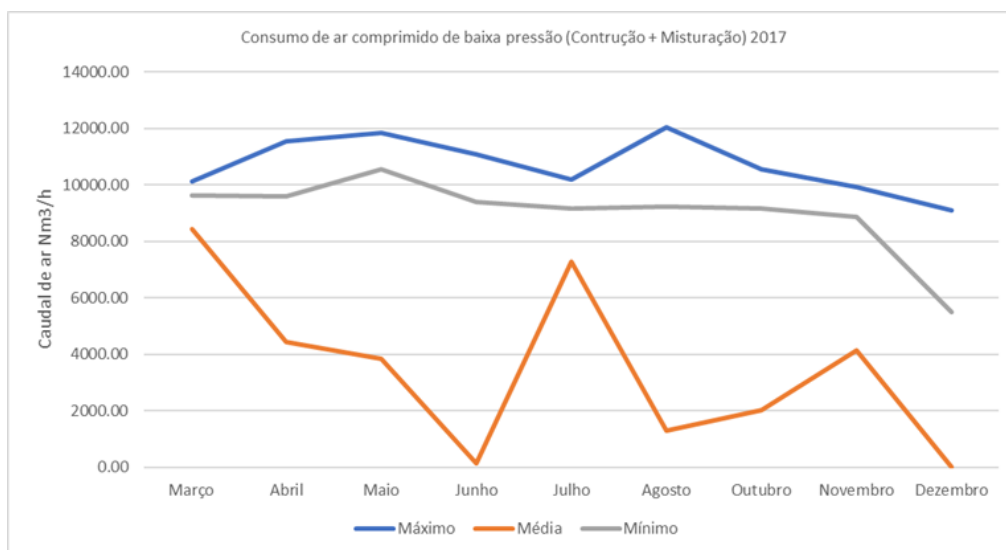


Figura 4.14 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão na Misturação e Construção em 2017

Através da análise deste gráfico verifica-se que o valor do consumo máximo mensal de ar comprimido de baixa pressão na Misturação e na Construção durante o ano de 2017 é de 12.030,89 Nm³/h, com uma média de 9.013,27 Nm³/h.

Dado estes valores serem calculados ao invés de diretamente medidos, foi expurgado o mês de setembro desta análise, pois ocorreu uma falha nas medições no caudalímetro instalado na Vulcanização durante este período.

A tabela com os dados referentes à Misturação e à Construção encontra-se no Anexo 9.

No gráfico da figura 4.15 estão presentes os dados referentes aos consumos de ar comprimido de baixa pressão da Vulcanização.

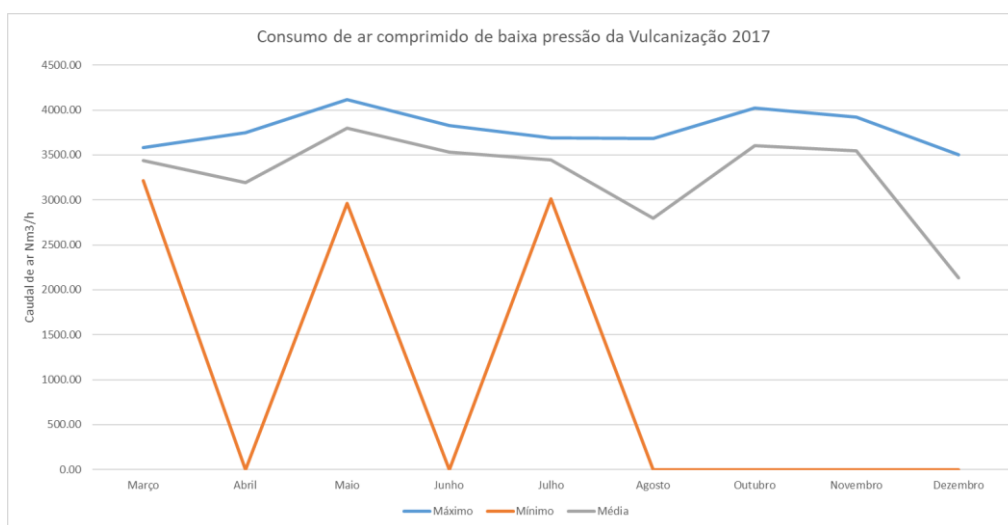


Figura 4.15 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão na Vulcanização em 2017

Durante o ano de 2017, na fase da Vulcanização verifica-se um consumo máximo de ar comprimido de baixa pressão de 4.115,89 Nm³/h e uma média de 3.276,41 Nm³/h. Pelas razões referidas anteriormente, foram expurgados desta análise os valores referentes ao mês de setembro.

A tabela com os dados referentes à Vulcanização encontra-se no Anexo 9.

No gráfico da figura 4.16 é possível verificar o perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão associado à limpeza de Moldes.

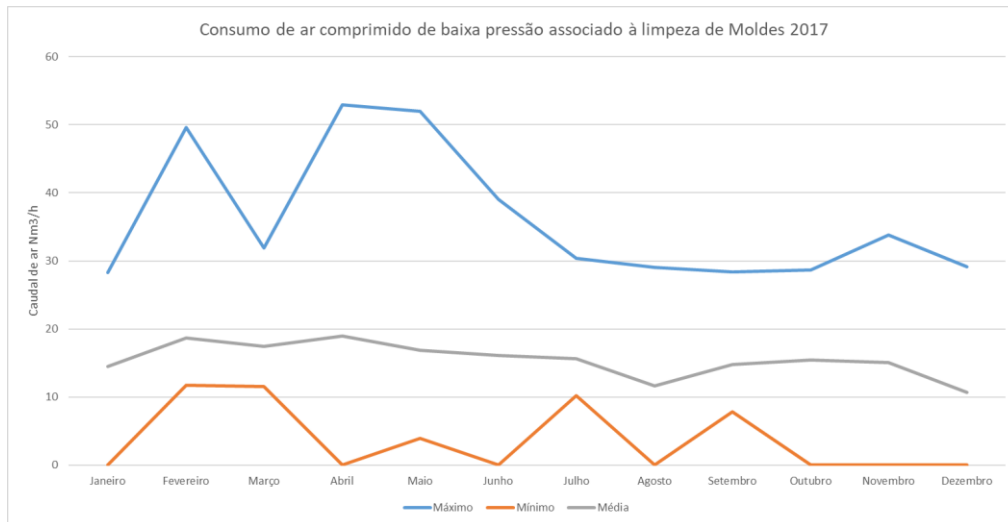


Figura 4.16 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão na limpeza de Moldes em 2017

Através da análise deste gráfico é possível verificar que o valor do consumo máximo mensal de ar comprimido de baixa pressão na limpeza de Moldes durante o ano de 2017 é de 52,93 Nm³/h com uma média de 15,49 Nm³/h. É possível concluir que a limpeza dos Moldes tem um consumo de ar comprimido muito inferior às duas fases de fabrico de pneus já apresentada, como expectável.

A tabela com os dados referentes à limpeza de Moldes encontra-se no Anexo 9.

No gráfico da figura 4.17 estão presentes os dados referentes aos consumos de ar comprimido de baixa pressão da Inspeção Final 1.

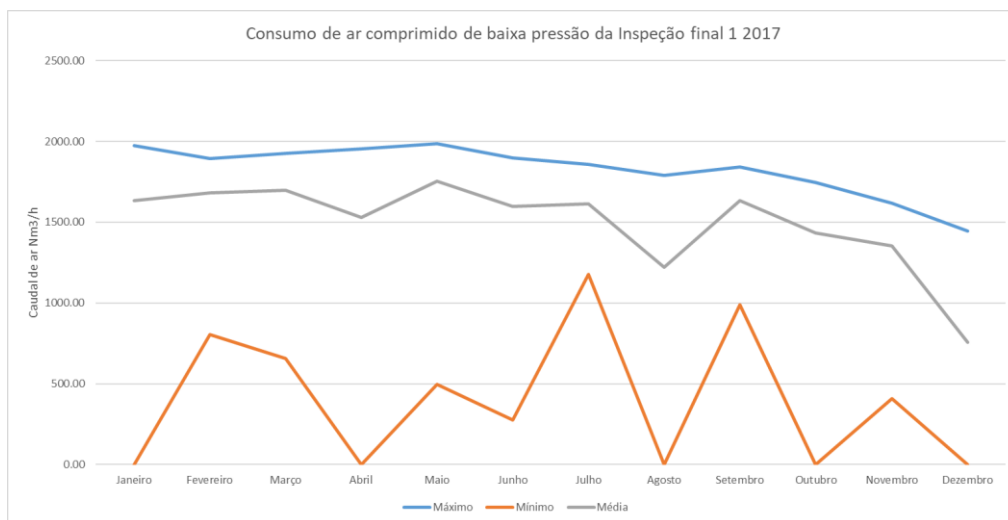


Figura 4.17 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão na Inspeção Final 1 em 2017

Durante o ano de 2017, na fase da Inspeção Final 1 verifica-se um consumo máximo de ar comprimido de baixa pressão de 1.986,37 Nm³/h e uma média de 1.493,03 Nm³/h.

A tabela com os dados referentes a este período encontra-se no Anexo 9.

Para a realização da análise dos consumos de ar comprimido de baixa pressão da Inspeção Final 2, optou-se por não incluir qualquer gráfico do perfil das necessidades, devido ao reduzido período analisado (dois meses). Durante este período (de 6 de abril de 2018 até ao dia 31 de maio do mesmo ano) verificou-se um consumo máximo de ar comprimido de 880,18 Nm³/h e uma média de 375,66 Nm³/h. A tabela com os dados referentes a este período encontra-se igualmente no Anexo 9.

No gráfico da figura 4.18 é possível verificar o perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão associado à unidade de fabrico de pneus agrícolas no período compreendido entre 1 de julho de 2018 e 18 de novembro do mesmo ano.

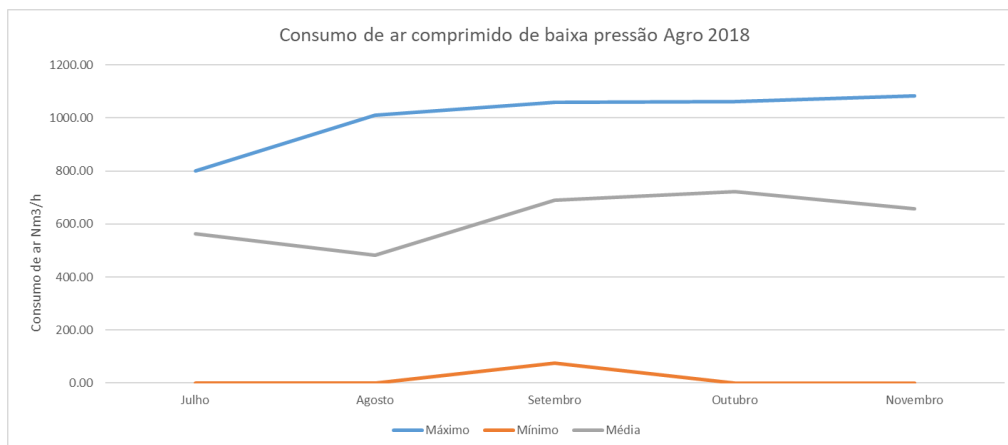


Figura 4.18 - Perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão no Agro 2018

Através da análise deste gráfico é possível verificar que o valor do consumo máximo mensal de ar comprimido de baixa pressão na unidade de produção de pneus agrícolas durante o período analisado é de 1.083,50 Nm³/h, com uma média de 622,64 Nm³/h. É de frisar que, durante este período, devido à expansão da unidade, os valores de pico sofreram um aumento constante. Os valores dos consumos médios também sofreram um aumento, com exceção do mês de agosto (férias dos colaboradores e consequente paragem de produção) e do mês de novembro (consumo tende a diminuir com o aproximar do final do ano civil).

Por fim, no gráfico da figura 4.19 está presente uma comparação percentual da média dos consumos de ar comprimido de baixa pressão em todas as fases do fabrico dos pneus.

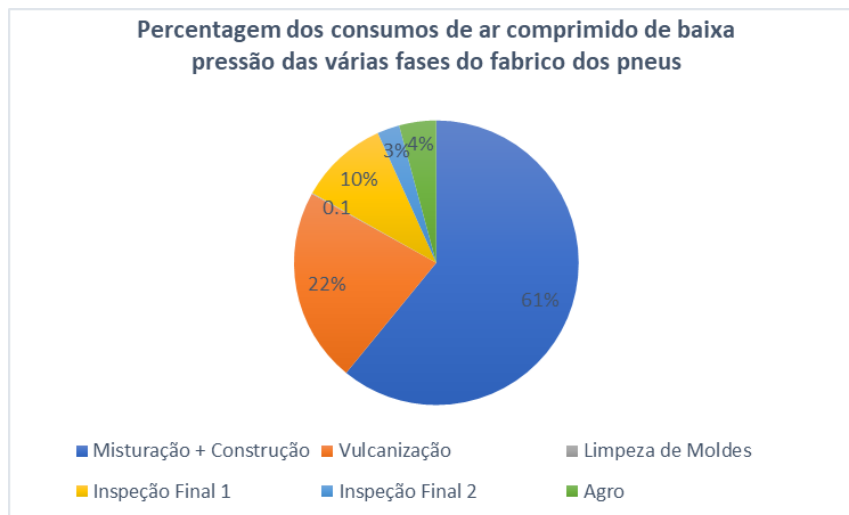


Figura 4.19 – Percentagem dos consumos de ar comprimido de baixa pressão das várias fases do fabrico dos pneus

Em suma, é possível concluir que a fase da Misturação e da Construção são os maiores consumidores de ar comprimido de baixa pressão da fábrica (61%), seguido da Vulcanização (22%), da Inspeção Final 1 (10%), do Agro (4%) e da Inspeção Final 2 (3%). Já a limpeza de Moldes representa uma percentagem mínima (0,1%) dos consumos de ar comprimido de baixa pressão da unidade de produção de pneus.

4.2 Pressão de fornecimento do ar comprimido de baixa pressão

Neste subcapítulo é analisada a pressão de fornecimento do ar comprimido de baixa pressão da fábrica no ano de 2017. Esta pressão é registada após toda a fase de tratamento do ar comprimido, tanto na central de produção 1, como na central de produção 2.

No gráfico da figura 4.20 e da figura 4.21 é possível verificar os perfis da pressão do ar comprimido de baixa pressão da central de produção 1 e 2, respetivamente.

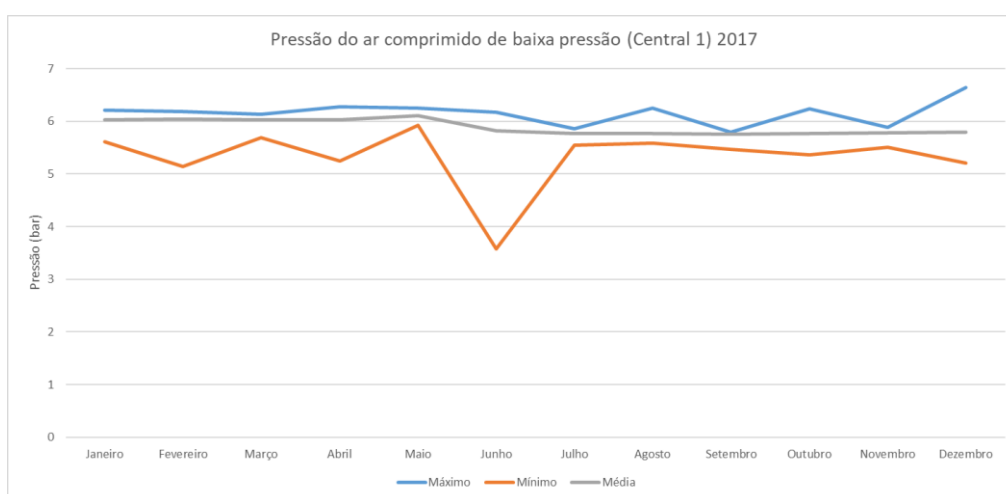


Figura 4.20 - Perfil da pressão de fornecimento do ar comprimido de baixa pressão da central 1 em 2017

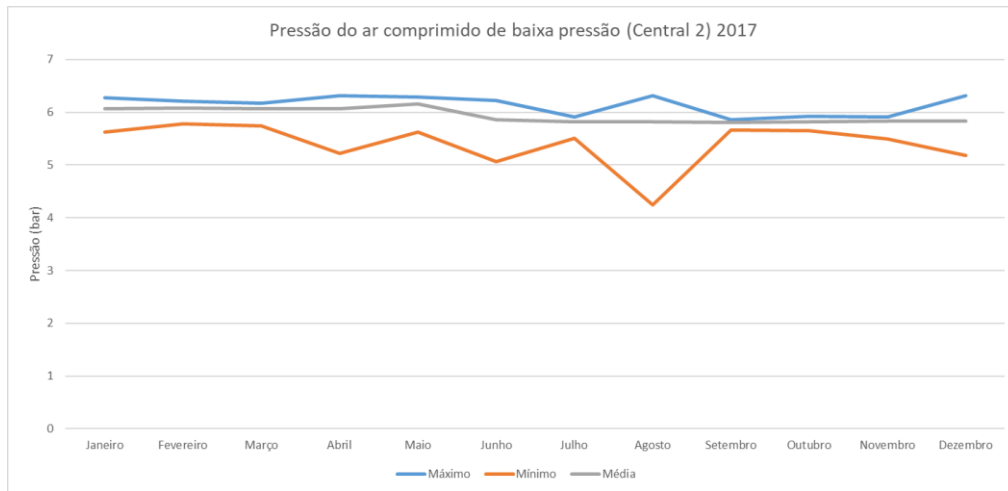


Figura 4.21 - Perfil da pressão de fornecimento do ar comprimido de baixa pressão da central 2 em 2017

Através da análise destes gráficos é possível verificar que o valor da pressão máxima de ar comprimido de baixa pressão da central de produção 1 é de 6,64 bar, com uma média de 5,89 bar. Já na central de produção 2, o pico máximo da pressão de fornecimento durante o período analisado é de 6,32 bar, com uma média de 5,93 bar. De forma conclusiva, é possível afirmar que o perfil da variação de pressão de fornecimento de ar comprimido de baixa pressão ao longo do ano de 2017 é bastante uniforme, não existindo variações significativas do mesmo.

4.3 Qualidade do ar comprimido de baixa pressão

A qualidade do ar comprimido é um parâmetro que tem uma elevada importância num sistema de ar comprimido. A necessidade de otimização dos consumos energéticos da central nunca poderá comprometer a qualidade do produto final e a fiabilidade do processo. De modo a avaliar a QAC, a Continental contratou uma empresa externa, a TradeLabor, especializada em avaliações da qualidade do ar comprimido em unidades industriais. Durante o dia 24 de abril de 2019 a TradeLabor realizou uma série de amostragens ao ar comprimido de baixa pressão, que permitiram a avaliação dos parâmetros relevantes àquela avaliação, designadamente: concentração de óleos, quantidade de vapor de água e a concentração de partículas. Os pontos de recolha das amostras de ar foram escolhidos, em concordância com as entidades supervisoras da Continental, tendo sido selecionados quatro pontos da rede de ar comprimido, um à saída de cada central de produção de ar comprimido (após realizado todo o tratamento do ar), outro no local mais afastado da Vulcanização e, por fim, num local elevado da Construção.

Na tabela 4.3 encontram-se os resultados das medições realizadas à qualidade do ar comprimido de baixa pressão.

Tabela 4.3 – Resultados da auditoria à qualidade do ar comprimido de baixa pressão

Ponto de medição	Concentração de Óleo		Ponto de Orvalho		Concentração de Partículas
	Tempo de amostragem (min)	Classe ISO 8573-1	Tempo de amostragem (min)	Classe ISO 8573-1	Classe ISO 8573-1
Saída da Central 1	10	2	2,5	4	4
Saída da Central 2	10	2	2,5	4	4
Vulcanização	10	2	2,5	4	4
Construção	10	2	2,5	4	3

Através da análise dos resultados obtidos, é possível concluir que a qualidade do ar se mantém ao longo de toda a rede de ar comprimido, com exceção do ponto de medição na fase da Construção, verificando-se um menor número de partículas. Isso deve-se ao facto da tubagem, neste local, estar localizada num ponto elevado da rede, tendo as partículas tendência a depositarem-se nos pontos baixos da rede, reduzindo, assim, a concentração.

Por último, as classes do ar comprimido medidas nos vários pontos da fábrica revelam valores aceitáveis para o tipo de indústria e para os requisitos das máquinas presentes na fábrica.

No Anexo 10 está presente o relatório completo da auditoria realizada, incluindo os certificados de calibração dos aparelhos de medida utilizados.

4.4 Perdas de carga na produção de ar comprimido de baixa pressão

As perdas de carga associadas ao ar comprimido são um fator que requer especial cuidado por parte das indústrias, acarretando um custo energético que se pode revelar significativo, que se manifesta 24 horas por dia, durante todo o ano (salvo paragens de produção), durante todo o ciclo de vida da instalação.

Ainda que as perdas de carga tenham origem tanto na produção como na distribuição de ar comprimido, como o presente trabalho está focado na produção, apenas não analisadas as perdas de carga afetas a este processo.

Ambas as centrais são dotadas de equipamentos isentos de óleo, o que, devido à baixa quantidade de equipamento e filtros de ar com classes de filtragem menos rígidas, diminui a perda de carga do tratamento do ar comprimido.

Foram recolhidos dados da pressão de produção de ar comprimido de cada máquina e da pressão à saída de cada central, após realizado o tratamento do mesmo. Adotou-se

um período de medição de uma semana (entre 19 e 26 de novembro de 2018) com uma frequência de medições de trinta segundos.

Na tabela 4.4 e 4.5 estão presentes os valores referentes às pressões de saída do ar dos compressores e a pressão após o tratamento do ar comprimido da central de produção 1 e 2, respetivamente.

Tabela 4.4 – Perdas de carga associadas à produção do ar comprimido de baixa pressão da central 1

Dia	Pressão saída do ZR5-1	Pressão saída do ZR5-2	Pressão saída do ZR315 VSD	Pressão após tratamento do ar	ΔP
	Média bar	Média bar	Média bar	Média bar	Média bar
19	5,95	5,85	5,95	5,78	0,17
20	5,99	5,88	5,95	5,75	0,22
21	6,06	5,96	6,01	5,71	0,32
22	6,03	5,92	5,99	5,74	0,27
23	5,93	5,79	5,87	5,73	0,17
24	5,92	5,77	5,88	5,72	0,18
25	5,93	5,79	5,88	5,72	0,18
26	5,91	5,81	5,86	5,73	0,15

Tabela 4.5 - Perdas de carga associadas à produção do ar comprimido de baixa pressão da central 2

Dia	Pressão saída do Ingersoll 2	Pressão após tratamento do ar	ΔP
	Média bar	Média bar	Média bar
19	6,10	5,85	0,25
20	6,12	5,86	0,26
21	-	-	-
22	6,08	5,81	0,26
23	6,07	5,80	0,27
24	6,05	5,79	0,26
25	6,05	5,79	0,27
26	6,06	5,79	0,27

Analisando os resultados obtidos neste período, registou-se uma perda de carga média no tratamento do ar comprimido de 0,21 bar na central de produção 1 e de 0,26 bar na central de produção 2. Estes valores correspondem a uma razão face à pressão de produção dos compressores de 3,5 % na central 1 e de 4,3% na central 2. A perda de

carga mais elevada no tratamento do ar da central de produção 2 deve-se ao maior caudal de ar comprimido de baixa pressão produzido.

É de salientar que no dia 21 de novembro nota-se um aumento considerável da perda de carga na central de produção 1. Este facto justifica-se pela existência de um arranque do compressor Ingersoll 1 e uma paragem do compressor Ingersoll 2, aumentando, assim, significativamente, o caudal produzido na central 2, levando a um conseqüente aumento da perda de carga.

Em conclusão, considera-se que as perdas de pressão constatadas durante o tratamento do ar comprimido de baixa pressão nas duas centrais estão dentro dos parâmetros aceitáveis (0,25 bar por cada nível de filtração (secador e filtro); Adene, 2017). Deste modo, descarta-se a possibilidade de perda de carga durante o tratamento do ar comprimido justificar a ineficiência do mesmo, não acarretando assim, um aumento do custo energético para a Continental.

É importante referir a importância da monitorização das perdas de carga, nomeadamente dos filtros, com vista à sua substituição atempada, evitando desperdícios energéticos. Cada bar de acréscimo no valor da pressão do SAC, implica um consumo adicional de 7% de energia elétrica nos compressores.

4.5 Fugas de ar na rede de ar comprimido de baixa pressão

As fugas de ar numa rede de ar comprimido apresentam, na grande parte dos casos, a maioria das perdas energéticas num sistema de ar comprimido, chegando a superar valores de 30%. Assim, torna-se muito importante a identificação das fugas e a eliminação das mesmas.

A Continental mantém a sua produção 24h por dia e sete dias por semana, tornando a identificação das fugas de ar um trabalho difícil e complexo de realizar. As paragens de produção são um período em que esse processo é exequível com uma menor dificuldade. No momento em que a fábrica entra em paragem é possível medir a queda de pressão do depósito de ar comprimido durante um período, identificando, assim, as fugas presentes na rede de ar comprimido. Contudo, o processo de paragem da produção da fábrica é realizado por fases e as máquinas não cessam trabalhos em igual período. Por este motivo, não foi possível realizar a medição das fugas de ar. Por fim, é de salientar a importância da realização desse estudo com o intuito de conduzir a elevadas reduções do consumo de energia elétrica associado ao ar comprimido.

4.6 Análise do perfil de funcionamento dos compressores

Neste capítulo, por último, são avaliados os perfis de funcionamento de todos os compressores de ar presentes na central de produção 1 e na central de produção 2. O

período escolhido para a análise destes dados foi o ano de 2018, desde o início do mês de janeiro até à data da realização deste estudo (outubro de 2018). Este foi o ano selecionado para a análise, pois foi o período de permanência do autor na empresa.

Numa primeira fase, são analisados os perfis de funcionamento durante este período, de cada equipamento presente das duas centrais de produção. Numa segunda fase, são analisados os consumos médios de toda a produção de ar comprimido de baixa pressão (central de produção 1 e central de produção 2 em conjunto). Por fim, numa terceira fase, são apresentados alguns resultados importantes, obtidos durante a auditoria realizada por uma entidade externa (entre 30 de janeiro de 2019 e 6 de fevereiro de 2019), detalhada posteriormente. Nesta fase de análise é importante realçar o perfil de funcionamento detalhado de cada máquina durante este período, tais como horas de carga e de vazio dos dois compressores Atlas Copco ZR5, horas de carga dos dois compressores Ingersoll e as horas nos vários patamares de funcionamento do compressor ZR315 VSD. É ainda analisado o comportamento dos compressores durante um período de grande oscilação dos consumos de ar comprimido de baixa pressão, ou seja, numa troca de turno.

- Central de produção 1

No que diz respeito ao consumo anual de energia elétrica referente à produção e ao tratamento do ar comprimido de baixa pressão da central 1, realizou-se a análise mensal dos valores médios com uma frequência de 15 minutos. No gráfico da figura 4.22 está presente o perfil de funcionamento médio dos compressores ao longo do ano de 2018. É de referir que estes resultados apenas se referem a valores médios mensais. Posteriormente, na exposição dos resultados referentes ao estudo energético da empresa auditora, serão analisados, de forma mais pormenorizada, os perfis de funcionamento de todos os compressores, isentos de qualquer filtro.

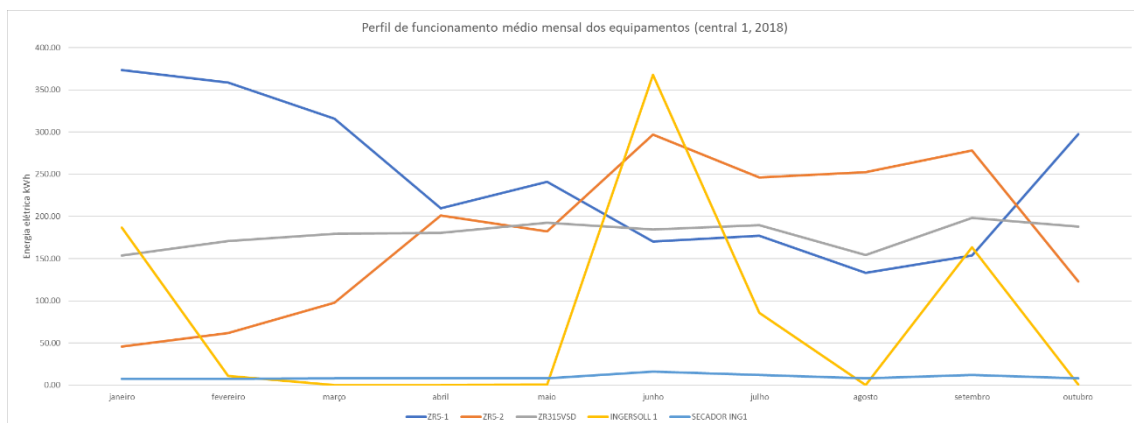


Figura 4.22 – Perfil de funcionamento médio mensal dos equipamentos presentes na central de produção 1

Através da análise deste gráfico é possível verificar que compressor Ingersoll 2 funcionou nos meses de janeiro, junho, julho e setembro, aumentando, assim, o consumo

de energia elétrica da central de produção 1 durante estes meses. É de salientar que, no período compreendido entre junho e setembro o compressor ZR5-2 foi a principal máquina com controlo carga/vazio, com prioridade face ao compressor ZR5-1. Por outro lado, no restante período, sucedeu-se exatamente o oposto. Quanto ao compressor ZR315 VSD, denotam-se consumos de energia elétrica bastante estáveis, devido à sua tecnologia de variação de velocidade.

Por fim, o valor do consumo de energia elétrica médio da central de produção 1 durante este período é de 691,85 kWh.

- Central de produção 2

No que diz respeito ao consumo anual de energia elétrica referente à produção e ao tratamento do ar comprimido de baixa pressão da central 2, realizou-se a análise mensal dos valores médios com uma frequência de 15 minutos. No gráfico presente na figura 4.23 pode-se verificar o perfil de funcionamento médio do compressor e do secador Ingersoll 2.

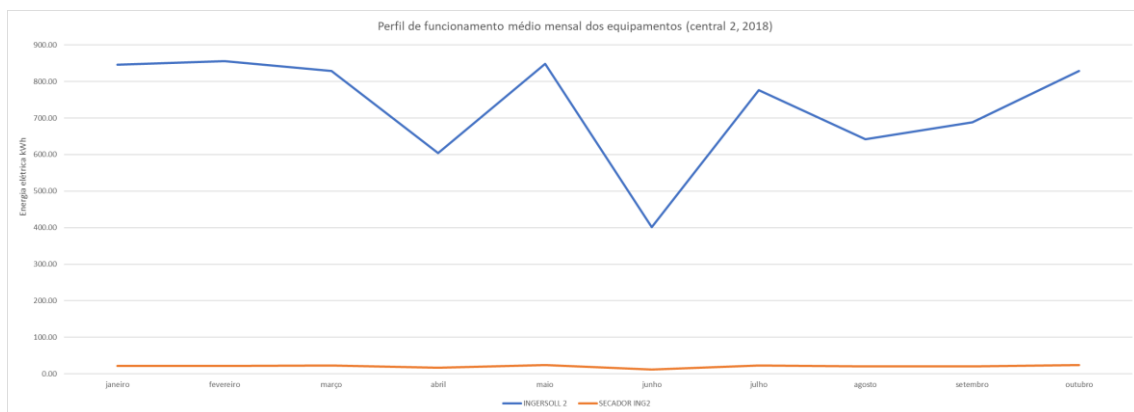


Figura 4.23 - Perfil de funcionamento médio mensal dos equipamentos presentes na central de produção 2

Analisando os resultados obtidos neste período, é possível observar que no mês de junho o consumo de energia elétrica médio da central de produção 2 é menor. Esta redução deve-se ao facto de ter ocorrido uma redução do tempo de operação desta central durante este período, como já foi referido anteriormente.

O valor do consumo de energia elétrica médio da central de produção 2 durante este período é de 752,76 kWh.

Tendo por base o ano de 2018, analisou-se o consumo total de energia elétrica mensal referente à produção de ar comprimido de baixa pressão deste período, sendo possível de verificar esses valores no gráfico da figura 4.24.

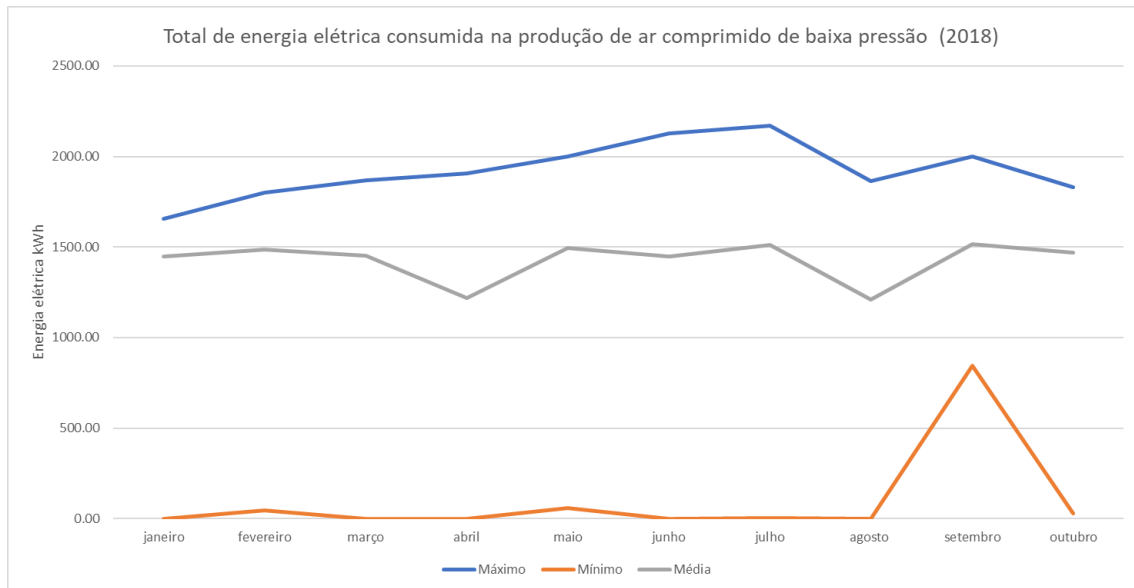


Figura 4.24 – Evolução do consumo total energia elétrica referente à produção de ar comprimido de baixa pressão do ano de 2018

Através da análise deste gráfico é possível concluir que a média do consumo de energia elétrica durante este período é bastante estável, com exceção do mês de abril e de agosto. Durante o ano de 2018 verifica-se um consumo de energia elétrica médio de 1.425,97 kWh e um pico máximo, registado no mês de julho, de 2.169,00 kWh.

Não obstante, as horas de operação em carga ou vazio e os tempos de paragem são valores importantes para a avaliação do desgaste das máquinas, da distribuição de cargas entre si e dos desperdícios resultantes das horas em vazio das mesmas. Assim, esta avaliação torna-se relevante, no sentido de perceber quais os pontos em que é possível otimizar a atual produção de ar comprimido de baixa pressão da Continental.

Dada a complexidade dessa avaliação e a necessidade de equipamento específico que acarreta, recorreu-se a uma auditoria realizada por uma entidade externa (entre 30 de janeiro de 2019 e 6 de fevereiro de 2019). A entidade realizou medições de caudal e corrente elétrica a cada máquina, resultando assim numa avaliação minuciosa de cada equipamento. Na figura 4.25 estão presentes os resultados das medições realizadas a cada compressor (horas de trabalho semanal de cada compressor).

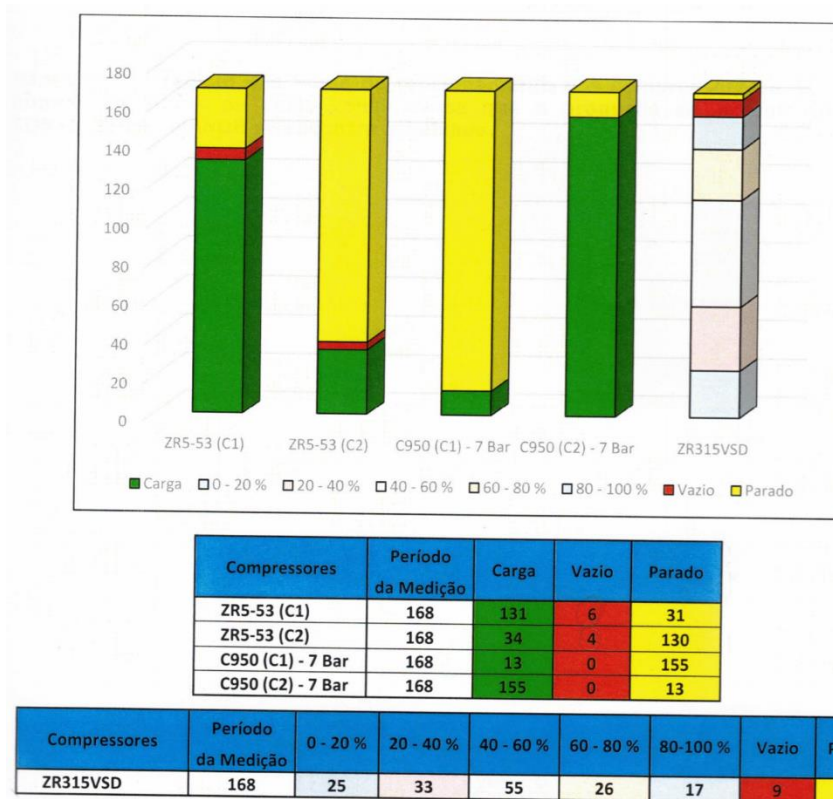


Figura 4.25 – Resultado das medições realizadas a cada compressor (número de horas; Fonte: Atlas Copco)

Através da análise das horas de funcionamento dos compressores verifica-se que, na central de produção 1, o compressor ZR5-1 apresenta um regime de carga elevado (cerca de 78%), tendo acumulado durante o período de medição 131 horas de carga e 31 horas de paragem. Já o compressor ZR5-2 apresenta um regime de carga reduzido (cerca de 20%), tendo acumulado durante o período de registo 34 horas de carga e 130 horas de vazio. Pode-se, assim, concluir que o compressor ZR5-1 tem prioridade no arranque, no sistema de gestão, face ao compressor ZR5-2.

O compressor ZR315 VSD apresenta um regime de carga elevado (cerca de 93%), acumulando durante o período de medição 156 horas de carga e apenas 3 horas de paragem. Desta forma, é possível considerar que o compressor esteve, na maioria do período, a funcionar no seu regime ótimo de carga.

Por último, verifica-se que o compressor Ingersoll 2 (C950 (C2)) apresenta um regime de carga elevado (cerca de 92%) quando comparado com o compressor Ingersoll 1 (C950 (C1); cerca de 8%). Este resultado vai ao encontro do relatado nas análises anteriormente realizadas. Ainda de referir que, durante este período, foi necessário recorrer ao arranque do compressor Ingersoll 1, devido a anomalias da rede elétrica.

Com base nestes resultados, é possível afirmar que a Continental apresenta uma gestão dos equipamentos afetos à produção de ar comprimido de baixa pressão bastante otimizada. Porém, torna-se importante analisar o comportamento das centrais de

produção de ar comprimido durante um período em que o consumo sofre uma redução considerável, ficando o parque de máquinas existente desajustado face a esse fenómeno. Dessa forma, realizou-se uma análise do comportamento das duas centrais de produção de ar comprimido de baixa pressão face a um período de troca de turno. Durante estes períodos existe uma redução aproximada do consumo de ar comprimido de 3.000 Nm³/h. No gráfico da figura 4.26 está presente o perfil de funcionamento dos compressores durante este período (15 minutos).

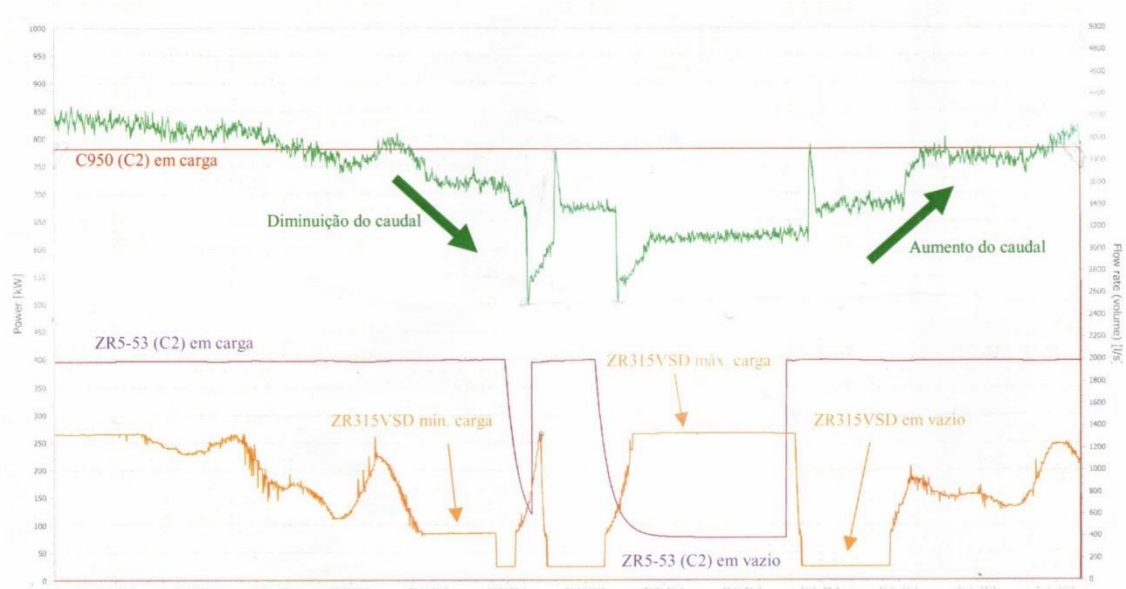


Figura 4.26 – Perfil de funcionamento dos compressores durante uma troca de turno (Fonte: Atlas Copco)

Através da análise do gráfico anterior, é possível verificar a diminuição do perfil de consumo na rede de ar comprimido de baixa pressão, criando um défice no controlo dos compressores. Desta forma, pode-se constatar a instabilidade originada pela elevada redução das necessidades de ar comprimido, destacando-se três momentos essenciais: momento em que o compressor ZR315 VSD está a trabalhar à mínima rotação e o compressor ZR5 está em carga, estes têm uma capacidade superior face às necessidades, originando ciclos de vazio; o momento em que apenas o compressor ZR5 está a trabalhar em carga e apresenta uma capacidade superior, face ao perfil de consumo; o momento em que o compressor ZR315 VSD se encontra a funcionar num regime de carga máxima (compressor na rotação máxima – fora da sua zona ótima de funcionamento) não tendo, por conseguinte, capacidade de satisfazer as necessidades do consumo de ar comprimido de baixa pressão.

Em conclusão, é possível afirmar que, as trocas de turno, nas quais a central de produção 1 apresenta um comportamento inadequado face à elevada redução das necessidades de consumo de ar comprimido, são um ponto chave para otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão da fábrica.

4.7 Identificação das propostas de solução

Neste subcapítulo estão descritos os procedimentos para a identificação das propostas de solução face aos problemas expostos inicialmente. É apresentada a metodologia, seguida da elaboração das propostas de solução para a otimização energética da produção de ar comprimido de baixa pressão, incluindo a recuperação de energia térmica para pré-aquecimento da água utilizada nas caldeiras de produção de vapor. Na tabela x está presente uma síntese dos problemas identificados.

Tabela 4.6 – Síntese dos problemas identificados

Problemas
Comportamento desajustado da central de produção 1 durante as trocas de turno
Idade avançada dos dois compressores ZR5
Futura falta da tecnologia de variação de velocidade na produção de ar comprimido de baixa pressão
Falta de recuperação da energia originada pelo processo de compressão do ar

4.7.1 Otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão

O autor diagnosticou que durante as trocas de turno, a central de produção 1 apresenta um comportamento desajustado face à redução das necessidades de ar comprimido da fábrica (o compressor ZR315 VSD, por vezes, não tem capacidade de resposta durante estes períodos). Em acréscimo, como consequência do anterior estudo realizado pelo autor, o compressor ZR315 VSD será colocado na produção de ar comprimido de baixa pressão. Assim, o ar comprimido de baixa pressão ficará sem uma das suas máquinas principais e, conseqüentemente, sem tecnologia de variação de velocidade.

O autor propõe, como substituição direta do ZR 315 VSD, uma nova máquina de velocidade variável, com uma capacidade superior (equiparada aos compressores ZR5, 500 kW). Desta forma, este compressor terá uma maior capacidade de resposta nos períodos de trocas de turno e suprirá a falta da tecnologia de variação de velocidade.

Complementarmente, dado que os dois compressores ZR5 apresentam longos anos de operação e, conseqüentemente, falta de fiabilidade, é importante a sua substituição. Dado que a capacidade da máquina de velocidade variável aumentou (de 315 kW para 500 kW), a substituição dos compressores ZR5 deve passar por duas ou três novas máquinas (dependendo da expansão da fábrica), com uma capacidade ligeiramente inferior.

Devem ser consideradas, numa primeira fase, máquinas isentas ou lubrificadas a óleo (a pedido da Continental Mabor). Posteriormente, serão analisadas as vantagens e desvantagens destas duas tecnologias face ao atual panorama da empresa.

Após o diagnóstico realizado pelo autor, contactou-se uma empresa auditora (Atlas Copco, habitual fornecedor da Continental Mabor) que auxiliou na elaboração das propostas de solução. Durante uma semana (entre 30 de janeiro de 2019 e 6 de fevereiro de 2019) a entidade auditora realizou um estudo à produção de ar comprimido de baixa pressão, efetuando medições na linha de ar comprimido de baixa pressão. Neste período, concretizaram medições da intensidade de corrente em todos os compressores e secadores de ar, bem como da pressão e caudal de ar comprimido à saída de cada central de produção e em cada compressor em particular.

Após realizadas as medições, a empresa auditora, em conjunto com o autor e com as entidades supervisoras, realizou diversas simulações, através de um *software* interno da Atlas Copco que realiza uma simulação energética dinâmica do comportamento de novas máquinas face às necessidades de ar comprimido de baixa pressão registadas nesse período. Estas simulações fornecem dados da energia elétrica consumida da nova central, do perfil de funcionamento de cada compressor e da potencial recuperação de energia térmica. Estes valores são importantes para validar as medidas de melhoria apresentadas pelo autor, quantificando as consequentes poupanças energéticas. As simulações foram realizadas com base no diagnóstico do autor e diretrizes fornecidas pela Continental Mabor.

Complementarmente, transmitiu-se à entidade auditora, através de indicações das entidades supervisoras, um pressuposto de simulação importante ao desenrolar deste projeto. Dado a Continental se encontrar em constante expansão, as necessidades de ar comprimido estão, conseqüentemente, a aumentar. Assim, sugeriu-se que as propostas de solução tivessem em atenção o caudal de ar comprimido atual medido e um caudal de ar comprimido futuro, 20% superior. Posto isto, é possível dividir as propostas de solução em duas fases distintas.

4.7.2 Potencial recuperação de energia térmica

Dado a possibilidade de adquirir novos compressores, verifica-se a eventualidade de recuperar a energia térmica originada pelo processo de compressão do ar através de um recuperador de calor. Por um lado, no caso dos compressores lubrificados a óleo, a energia é trocada para o fluido a aquecer, através do óleo lubrificante do compressor. Por outro lado, no caso dos compressores isentos de óleo, a energia é trocada para o fluido a aquecer através de um circuito secundário de água.

De um modo sucinto, o circuito do óleo lubrificante/água é conduzido até ao exterior do compressor, passando por um permutador de calor que, por sua vez, pré-aquece a água

utilizada nas caldeiras de produção de vapor. Se, por algum motivo, o caudal de água utilizado nas caldeiras não for suficiente para o fluido se manter dentro das temperaturas ideais para o bom funcionamento do compressor, o caudal do óleo lubrificante/água é reduzido através de uma electroválvula com sensor de temperatura. Assim, este fluido que não atravessa o permutador de calor terá de ser arrefecido através da água de refrigeração proveniente das torres de arrefecimento. Esta solução torna-se interessante pois, por um lado reduz a utilização de energia associada à produção de vapor e, por outro, reduz o caudal de água a arrefecer pelas torres de arrefecimento.

Dado a otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão passar pela eventual aquisição de compressores novos, não será necessária a realização de uma adaptação das máquinas a esta solução, dado os novos equipamentos serem preparados de origem. Assim, verificar-se-á uma poupança monetária na modificação do compressor e uma possível perda de fiabilidade no mesmo.

RESULTADOS

5.1 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉTRICA DA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

5.2 DETERMINAÇÃO DO CUSTO DA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

5.3 MEDIDAS PARA A OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

5.4 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

5.5 ANÁLISE DE INVESTIMENTO À OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO

5.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS

5 RESULTADOS

Este capítulo destina-se a apresentar os resultados e as soluções face ao problema inicialmente proposto. Numa primeira fase, é calculado o consumo específico de energia elétrica atual da produção de ar comprimido e o respetivo custo da produção. Numa segunda fase, é apresentada a proposta de solução para a otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão, acompanhada das respetivas validações técnicas, incluindo um novo *layout* da central e análises de investimento. Por último, é apresentada uma síntese dos resultados.

5.1 Determinação do consumo específico de energia elétrica da produção de ar comprimido de baixa pressão

A determinação do consumo específico de energia elétrica é um parâmetro fundamental na caracterização do funcionamento de um sistema de ar comprimido. Desta forma, a comparação do consumo específico de energia elétrica com eventuais *benchmarks* permite concluir sobre a eficiência energética do sistema de ar comprimido em análise e determinar o custo financeiro da produção de ar comprimido.

Na figura 5.1 e na figura 5.2 são apresentados os diagramas de produção de ar comprimido de baixa pressão da central 1 e da central 2, respetivamente.

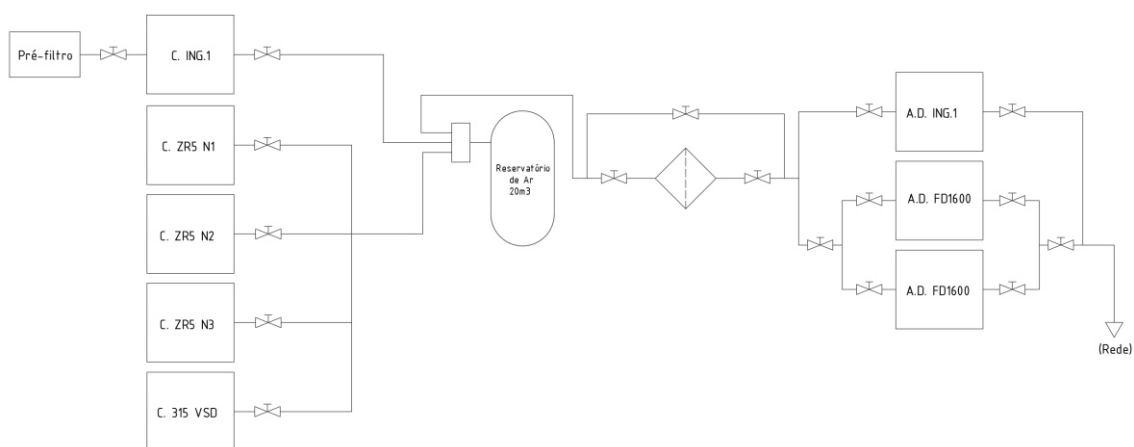


Figura 5.1 – Esquema de princípio simplificado da central de produção 1

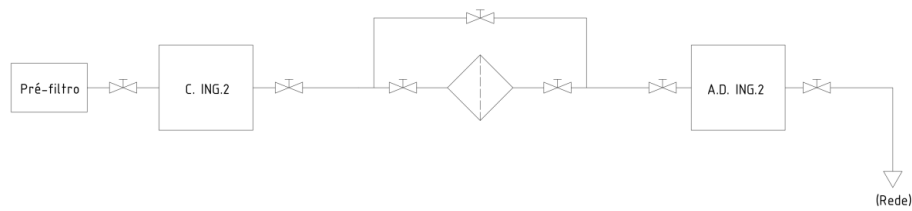


Figura 5.2 - Esquema de princípio simplificado da central de produção 2

5.1.1 Compressores

Depois de analisado o perfil de consumos de ar comprimido de baixa pressão, é necessário estudar cada equipamento em particular, começando pelos compressores (principais responsáveis pela produção de ar comprimido).

Uma vez que os compressores são os principais responsáveis pelo gasto de energia elétrica numa central de produção de ar comprimido, revela-se imprescindível estudar os consumos específicos de energia elétrica dos mesmos, por forma a, posteriormente, se calcular o custo da produção do ar comprimido em cada um destes equipamentos.

Ao realizar a recolha de dados, verificou-se como entrave à recolha de dados o facto dos caudalímetros (do tipo termomássicos), que normalmente estão a medir a produção de ar comprimido de cada compressor, apresentarem um tempo de vida muito reduzido. Tal se deve às inúmeras impurezas que o ar (ainda não tratado) tem à saída de cada máquina. Inicialmente, ponderou-se inserir um caudalímetro na tubagem de saída de ar comprimido de cada compressor, contudo, rapidamente, se verificou a inviabilidade desta medida, pois o ar tem presente um elevado teor de humidade que afeta a respetiva contagem. Como tal, para realizar a avaliação individual de cada compressor, recorreu-se aos resultados obtidos no estudo realizado pela entidade auditora. Para o cálculo do consumo específico de energia elétrica (SER) utilizou-se a equação 2.7. Na tabela 5.1 estão presentes os resultados do consumo específico de energia elétrica real de cada compressor, assim como os desvios face aos respetivos valores teóricos (valores de fábrica e presentes no *datasheet* dos equipamentos, obtidos com condições de ensaio específicas).

Tabela 5.1 – Valores de funcionamento dos compressores de ar comprimido de baixa pressão

	Anos de operação	Caudal registado	Energia elétrica consumida	SER real	SER teórico	Desvio
		Nm ³ /h	kWh	kWh/Nm ³	kWh/Nm ³	
ZR5-1	26	3.780	490	0,128	0,102	21
ZR5-2	26	3.780	470	0,124	0,102	18
ZR315VSD	16	759,6/ 2736	111/ 332	0,103/ 0,118	0,103/ 0,118	~0

Ingersoll 1	9	9468	842	0,089	-	-
Ingersoll 2	6	9468	855	0,090	-	-

A partir da análise dos resultados obtidos é possível constatar que, dado o longo período de operação, os dois compressores ZR5 apresentam desvios significativos entre o SER real e o SER teórico, tornando-se os compressores menos eficientes energeticamente. Por outro lado, os dois compressores centrífugos Ingersoll revelam-se os compressores de ar comprimido de baixa pressão mais eficientes energeticamente. Por último, é de salientar que, embora já com um longo período de operação, não se regista um desvio significativo entre o SER real e o SER teórico do compressor ZR315 VSD.

5.1.2 Secadores de ar

Tal como já foi referido anteriormente, existem quatro secadores de ar de baixa pressão, três deles instalados na central de produção 1 e um instalado na central de produção 2. Contudo, dois dos compressores instalados na central de produção 1 (FD1600) estão constantemente parados, funcionando como *backup*. Assim, torna-se importante focar a análise apenas em dois secadores, o secador Ingersoll 1 e o secador Ingersoll 2, instalados na central de produção 1 e 2, respetivamente.

É essencial proceder à análise dos consumos específicos de energia elétrica dos secadores de ar, pois estes têm impacto no consumo de energia elétrica referentes à produção de ar comprimido de baixa pressão. Para o efeito, selecionou-se um período de uma semana (entre 25 de setembro de 2018 e 02 de outubro de 2018) na qual não existiu qualquer paragem de produção nem qualquer outro fenómeno que influenciasse os resultados obtidos.

Assim, utilizou-se a equação 2.7 para o cálculo do consumo específico de energia elétrica. Na tabela 5.2 encontram-se os valores de funcionamento dos secadores de ar comprimido de baixa pressão.

Tabela 5.2 - Valores de funcionamento dos secadores de ar comprimido de baixa pressão

Secadores	Caudal registado	Energia elétrica consumida	SER real
	Nm ³ /h	kWh	kWh/Nm ³ (10 ³)
	Média anual	Média anual	Média anual
Ingersoll 1	5.554,60	9,00	1,67
Ingersoll 2	8.638,49	25,49	2,95

Na produção de ar comprimido de baixa pressão da empresa, as necessidades energéticas/esforço energético associado à secagem do ar é muito inferior (cerca de 40

vezes) à sua compressão, pelo que, ainda que importante, representa apenas 2,4% da energia utilizada na produção de ar comprimido de baixa pressão.

Através da análise dos resultados obtidos, conclui-se que o secador Ingersoll 1, no atual regime de funcionamento, é energeticamente mais eficiente do que o secador Ingersoll 2. É de referir que o secador Ingersoll 2 é refrigerado a ar, o que significa que a energia elétrica consumida inclui os ventiladores incorporados no mesmo. Por outro lado, o secador Ingersoll 1 é refrigerado a água, não sendo o seu consumo específico de energia elétrica tão linear, quando comparado com o secador presente na central de produção 2. Para ser possível obter um consumo específico de energia elétrica totalmente real do secador Ingersoll 1 seria necessário calcular a parcela da energia elétrica consumida pelas bombas circuladoras da água de refrigeração das torres de arrefecimento, a energia elétrica consumida pelos ventiladores das torres de arrefecimento e ainda o custo do tratamento da água das mesmas. Contudo, esse estudo não foi possível ser realizado devido à falta de informação sobre a quantidade de água de refrigeração que percorre o secador Ingersoll 1 e o seu contributo para o consumo de energia elétrica das torres de arrefecimento.

5.1.3 Consumo específico de energia elétrica total

Depois de analisados todos os equipamentos consumidores de energia elétrica que integram a central de produção de ar comprimido de baixa pressão e calculados os consumos energéticos específicos de cada um, torna-se possível determinar o consumo específico de energia total. Como tal, optou-se por realizar a análise em duas fases. Numa primeira fase é analisado o consumo específico de energia elétrica da central de produção 1 e da central de produção 2 durante o ano de 2018 (entre janeiro e outubro). Numa segunda fase é analisado o consumo específico de energia elétrica global, relativo à produção de ar comprimido de baixa pressão, durante esse mesmo período.

- Central de produção 1

No que diz respeito à produção e ao consumo específico de energia elétrica do ar comprimido da central 1, encontra-se presente no gráfico da figura 5.3, o perfil dos mesmos, ao longo do período analisado.

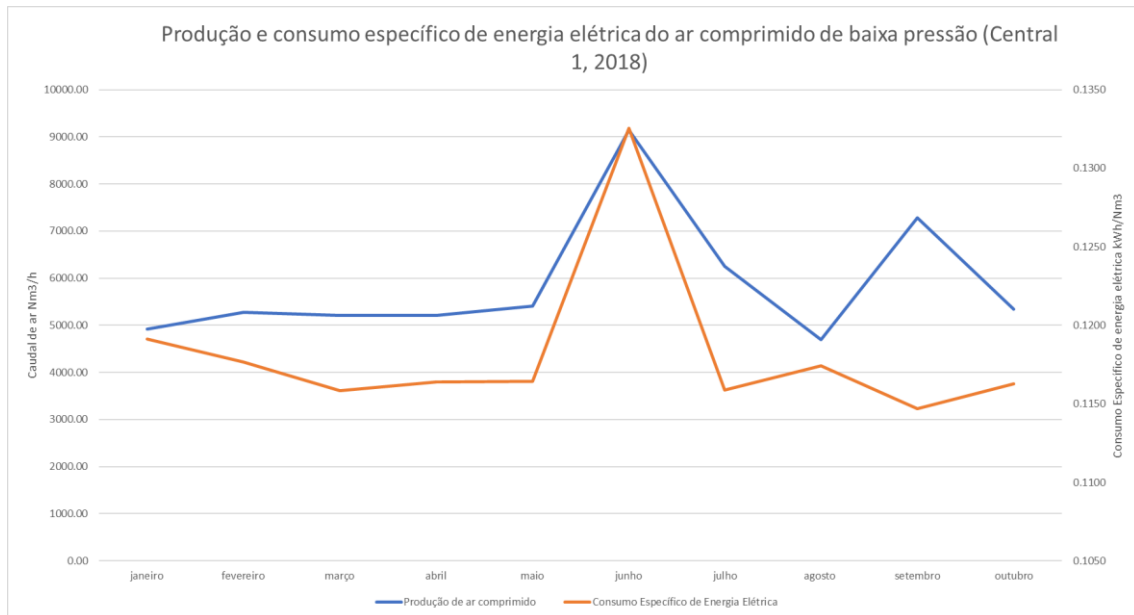


Figura 5.3 – Produção e consumo específico de energia elétrica do ar comprimido da central 1 em 2018

Através da análise do gráfico anterior é possível verificar um aumento do consumo específico da energia elétrica da central de produção 1 durante o mês de junho. Ao longo deste período, a central de produção 2 sofreu algumas paragens, tendo, dessa forma, a central de produção 1 produzido a totalidade do ar comprimido de baixa pressão, traduzindo-se no funcionamento de todas as máquinas presentes na mesma. Em acréscimo, durante os períodos no qual a central de produção 1 produz a totalidade do ar comprimido de baixa pressão, é necessário aumentar a pressão de trabalho das máquinas, de forma a colmatar a queda de pressão nos pontos mais distantes da fábrica (habitualmente atenuados através da central de produção 2). Desta forma, o aumento do consumo específico de energia elétrica é justificável. Durante o restante período denota-se um perfil sem oscilações, resultando num consumo médio específico de energia elétrica de 0,118 kWh/Nm³.

- Central de produção 2

No gráfico presente na figura 5.4 apresenta-se o perfil da produção e do consumo específico de energia elétrica do ar comprimido da central 2 ao longo do ano de 2018.

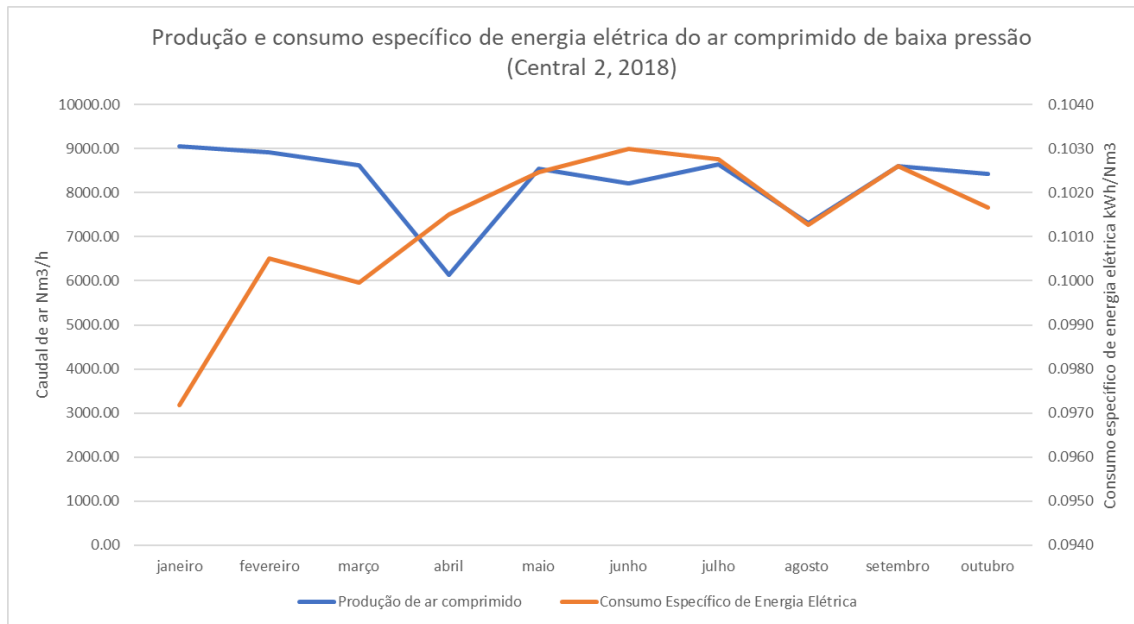


Figura 5.4 - Produção e consumo específico de energia elétrica do ar comprimido da central 2 em 2018

Analisando os resultados obtidos neste período, é possível observar um aumento do consumo específico de energia elétrica da central de produção 2, à exceção dos meses de março e agosto. Este aumento é mais acentuado nos meses em que se registam temperaturas elevadas e a capacidade de separação do filtro é negativamente afetada pelo aumento da temperatura do ar (Adene, 2017). Desta forma, pode ter resultado numa maior colmatação do filtro e conseqüente aumento do consumo específico de energia elétrica da central de produção 2. Durante o período de análise, verificou-se um consumo médio específico de energia elétrica de 0,101 kWh/Nm³.

Depois de analisado o consumo específico de energia elétrica do ano de 2018 das duas centrais de produção, é importante analisar este indicador no que respeita à globalidade da produção de ar comprimido de baixa pressão, uma vez que cada central contribui de modo diferenciado para satisfazer as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da fábrica (central 1: 40% e central 2: 60%). No gráfico da figura 5.5 está presente o perfil da produção e do consumo específico de energia da globalidade do ar comprimido de baixa pressão durante o período analisado.

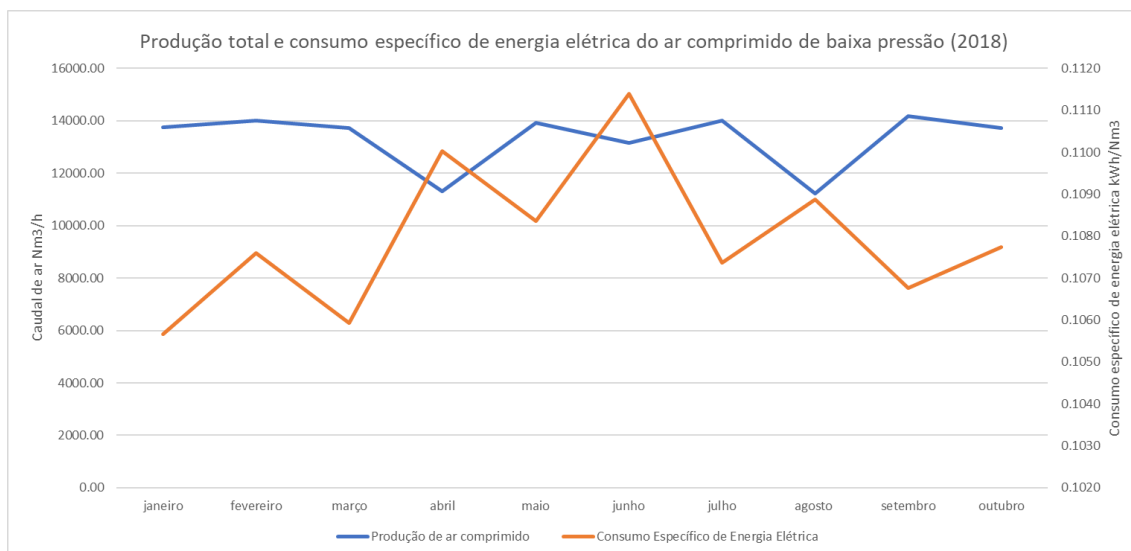


Figura 5.5 - Consumo específico de energia elétrica da produção de ar comprimido global em 2018

Durante o ano de 2018, verifica-se que o mês de junho é o que apresenta o consumo específico de energia elétrica mais elevado (0,111 kWh/Nm³) e que o mês de janeiro apresenta o valor mais baixo (0,106 kWh/Nm³). O valor médio neste período é de 0,108 kWh/Nm³.

Não obstante, é possível obter resultados mais exatos do consumo específico de energia elétrica global. Assim, procedeu-se à recolha dos dados de 2018 do total do consumo de energia elétrica associado à produção de ar comprimido de baixa pressão (11.697.986 kWh) e o total de ar comprimido de baixa pressão produzido (111.784.642 Nm³). O consumo específico de energia elétrica global associado à produção de ar comprimido de baixa pressão é de 0,105 kWh/Nm³.

De forma a validar, tanto os resultados obtidos pelo autor, como os resultados obtidos na auditoria energética realizada pela entidade externa, realizou-se uma comparação dos valores obtidos em períodos homólogos do ano de 2018 e do ano de 2019 (de 30 de janeiro a 6 de fevereiro). Na tabela 5.3 é possível verificar os resultados obtidos.

Tabela 5.3 – Comparação de resultados do consumo específico de energia elétrica global

Consumo específico de energia elétrica global (Estimativa do autor; 2018)	Consumo específico de energia elétrica global (Auditoria Atlas Copco; 2019)	Erro
kWh/Nm³	kWh/Nm³	%
0,105	0,104	0,43

Constata-se que o erro existente nos resultados obtidos em períodos homólogos é bastante reduzido, concluindo-se que existe uma grande concordância entre o estudo realizado pelo autor e o estudo realizado pela empresa auditora.

5.2 Determinação do custo da produção de ar comprimido de baixa pressão

Após ser determinado o consumo específico de energia elétrica global associado à produção de ar comprimido de baixa pressão, é possível calcular o custo do ar comprimido de baixa pressão em cada equipamento em particular, assim como o custo global da produção de ar comprimido de baixa pressão.

É de referir que o custo final da energia elétrica na Continental Mabor é de 0,088 €/kWh (valor utilizado no orçamento de 2019).

5.2.1 Compressores

Na tabela 5.4 está presente o custo da produção de ar comprimido de baixa pressão (por Nm³) em cada compressor, tanto da central de produção 1 como da central de produção 2.

Tabela 5.4 - Custo do ar comprimido de baixa pressão nos compressores

Compressores	Consumo específico de energia elétrica	Custo
	kWh/Nm ³	€/Nm ³ (10 ³)
ZR5-1	0,128	11,26
ZR5-2	0,124	10,91
ZR315VSD	0,103/	9,06/
	0,118	10,38
Ingersoll 1	0,089	7,83
Ingersoll 2	0,090	7,92

5.2.2 Secadores de ar

Pode-se observar na tabela 5.5 a influência dos secadores de ar de ambas as centrais de produção, no custo da produção de ar comprimido de baixa pressão.

Tabela 5.5 – Custo do ar comprimido de baixa pressão nos secadores de ar

Secadores	Consumo específico de energia elétrica	Custo
	kWh/Nm ³ (10 ³)	€/Nm ³ (10 ³)
Ingersoll 1	1,67	0,15
Ingersoll 2	2,95	0,26

5.2.3 Custo total do ar comprimido de baixa pressão

Depois de efetuadas todas as análises anteriormente descritas, é possível obter o custo global atual da produção de ar comprimido de baixa pressão. Assim, na tabela 5.6 é possível verificar o custo global da produção de ar comprimido de baixa pressão da empresa.

Tabela 5.6 – Custo global do ar comprimido de baixa pressão

Consumo específico de energia elétrica	Custo
kWh/Nm ³	€/Nm ³ (10 ³)
0,105	9,20

5.3 Medidas para a otimização energética da produção de ar comprimido de baixa pressão

Depois de determinado o consumo específico de energia elétrica atual da produção de ar comprimido de baixa pressão e o respetivo custo, propõe-se duas soluções para a redução dos mesmos.

De forma a obter uma melhor resposta às ambições da entidade supervisora e a pedido da mesma são expostas duas propostas de solução com tecnologia de compressão distintas (compressores isentos e lubrificados a óleo). É importante salientar que as propostas de solução têm em atenção o caudal de ar comprimido atual medido e um caudal de ar comprimido futuro, 20% superior. Desta forma dividem-se as propostas de solução em duas fases de implementação distintas. Dada a elevada eficiência energética e o reduzido período de operação dos compressores Ingersoll, as propostas de solução apresentadas são apenas válidas para a central de produção 1.

Em complemento, surgiu a necessidade de analisar a substituição dos secadores de ar presentes na produção de ar comprimido de baixa pressão, não tanto pelo consumo específico associado, mas antes devido ao tipo e à quantidade de fluido frigorífero contido nos mesmos, no que se refere ao impacto ambiental dos gases frigoríferos e à necessidade da substituição dos fluidos fluorados por fluidos com baixo índice GWP.

Os modelos de compressores e secadores propostos são sugeridos pela entidade auditora (habitual fornecedor da Continental), e, por tal, todas as referências abaixo referem-se a equipamentos desta entidade. Em acréscimo, os respetivos custos, a par da simulação energética da nova solução mediante um *software* específico, são fornecidos pela entidade auditora.

5.3.1 Substituição dos compressores

Como já foi referido anteriormente, este estudo tem por base um outro realizado pelo autor, que estudou a possibilidade de transferência do compressor de velocidade variável (Atlas Copco ZR315 VSD) da linha de produção de ar comprimido de baixa pressão para a produção de ar comprimido de alta pressão. Desta forma, surge a necessidade de colmatar a perda da tecnologia de variação de velocidade na produção do ar de baixa pressão. Por outro lado, como foi analisado anteriormente, os dois compressores ZR5 contam com um elevado período de operação, levantando algumas questões acerca das suas eficiências energéticas, para além de estarem já no final de vida útil.

São apresentadas duas propostas de solução distintas (a pedido da entidade supervisora), sendo que uma conta apenas com compressores isentos de óleo e outra com compressores lubrificados a óleo.

Revela-se importante refletir sobre as vantagens e as desvantagens de cada solução, de forma a selecionar uma para a realização de uma análise mais pormenorizada. Na tabela 5.7 estão enumeradas as vantagens e desvantagens da proposta de solução dos compressores lubrificados a óleo face ao atual desempenho da fábrica. Não se apresentam as características referentes aos compressores isentos de óleo uma vez que estes apresentam como vantagens aquelas que são as desvantagens dos compressores lubrificados a óleo. O mesmo se sucede no que se refere às desvantagens existentes.

Tabela 5.7 – Vantagens e desvantagens dos compressores lubrificados a óleo

Vantagens (Lubrificados a óleo)	Desvantagens (Lubrificados a óleo)
<ul style="list-style-type: none"> • Menor investimento inicial (cerca de 50%); • Menor potência instalada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da pressão de trabalho do ar comprimido de baixa pressão (cerca de 0,25 bar); • Contaminação da rede de ar comprimido de baixa pressão; • Maiores custos de manutenção (mudança frequente de óleo e de filtros); • Maior desgaste do óleo lubrificante com a implementação do recuperador de energia (cerca de 50%).

Os compressores lubrificados a óleo acarretam um investimento inicial muito inferior (cerca de 50%), quando comparados com os compressores isentos de óleo. Isto deve-se à menor complexidade tecnológica presente nos compressores lubrificados a óleo. Complementarmente, estes compressores têm uma capacidade de produção de ar

superior aos compressores isentos de óleo, diminuindo, por conseguinte, a potência instalada na central de produção.

Contudo, a opção por compressores lubrificados a óleo acarreta muitas desvantagens e consequências prejudiciais para o atual sistema de ar comprimido de baixa pressão. Toda a atual produção de ar comprimido de baixa pressão é realizada através de máquinas isentas de óleo e, desta forma, a inserção de compressores lubrificados a óleo iria tornar a gestão do sistema muito complexa. Assim, seria necessário inserir outro nível de filtragem dedicado a estas máquinas, aumentando a pressão de trabalho das máquinas em cerca de 0,25 bar e, conseqüentemente, elevando o custo energético da produção de ar comprimido. Em acréscimo, dado que continuam a existir compressores isentos de óleo no sistema de produção de ar comprimido de baixa pressão, a colocação de compressores lubrificados a óleo (em duas fases) obriga à existência de dois tratamentos do ar comprimido diferenciados. A qualidade do ar comprimido debitado na rede de distribuição também iria diminuir, sendo difícil a sua manutenção na classe 2, referentes à quantidade de óleo presente no mesmo. Por último, com a implementação de um recuperador de energia térmica dedicado aos compressores lubrificados a óleo, verificar-se-ia a diminuição em cerca de 50% da durabilidade do óleo. Desta forma, os custos de manutenção dos compressores lubrificados a óleo seriam superiores quando comparados com os custos associados aos compressores isentos de óleo.

Ambas as soluções têm por base o caudal de ar comprimido de baixa pressão medido e, posteriormente, um acréscimo de 20% no caudal face à constante expansão da fábrica (Fase 1 e Fase 2, respetivamente).

- Compressores Isentos de Óleo

A proposta de solução para os compressores isentos de óleo durante a fase 1 passa pela substituição do compressor ZR315 VSD (transferido para a linha de alta pressão) por um compressor ZR500 VSD (velocidade variável); substituição do compressor ZR5-1 por um compressor ZR355 (carga/vazio); e instalação de um recuperador de energia térmica ER900. Desta forma, o compressor ZR5-2 fica como *backup*.

Na fase 2 (acrécimo de 20% no caudal de ar comprimido), a proposta de solução sugere a substituição do compressor ZR5-2 por dois compressores ZR355 (carga/vazio).

Desta forma, prevê-se, através dos resultados obtidos na simulação realizada pela empresa auditora, uma redução dos consumos de energia elétrica anuais, face à atual central, de 3% durante a fase 1 e de 16% durante a fase 2.

Na tabela 5.8 está presente a estimativa orçamental para os compressores e para o recuperador de energia. No Anexo 11 está presente o orçamento detalhado e os *datasheets* de todos os equipamentos.

Tabela 5.8 – Estimativa orçamental resumida para proposta de solução dos compressores isentos de óleo

	Quantidade	Custo [€]
ZR500 VSD	1	307,610,00
ZR355	3	596.430,00
ER900	1	42.850,00
Total	-	946.890,00

- Compressores Lubrificados a Óleo

A proposta de solução para os compressores lubrificados a óleo durante a fase 1 passa pela substituição do compressor ZR315 VSD por dois compressores GA250 VSD (velocidade variável); substituição do compressor ZR5-1 por um compressor GA355 (carga/vazio); e instalação de um recuperador de energia térmica ER900. Desta forma, o compressor ZR5-2 fica como *backup*.

Durante a fase 2, sugere-se como proposta, a substituição do compressor ZR5-2 por um compressor GA355 (carga/vazio).

Desta forma, prevê-se, através dos resultados obtidos na simulação realizada pela empresa auditora, uma redução dos consumos de energia elétrica anuais, face à atual central, de 4% durante a fase 1 e de 16% durante a fase 2.

Na tabela 5.9 está presente a estimativa orçamental para os compressores e para o recuperador de energia. No Anexo 12 está presente o orçamento detalhado e os *datasheets* de todos os equipamentos.

Tabela 5.9 – Estimativa orçamental resumida para proposta de solução dos compressores lubrificados a óleo

	Quantidade	Custo [€]
GA250VSD	2	187.920,00
GA355	2	263.200,00
ER900	1	42.850,00
Total	-	493.970,00

No que diz respeito às poupanças nos consumos de energia elétrica, o resultado de ambas as soluções apresentam valores idênticos.

Assim, dado o exposto anteriormente, optou-se por realizar uma análise mais detalhada da proposta de solução dos compressores isentos de óleo.

5.3.2 Substituição dos secadores

Segundo o Regulamento (EU) n.º 517/2014, a partir de 1 de janeiro de 2020, é proibida a utilização de gases fluorados com efeitos de estufa cujo potencial de aquecimento global seja igual ou superior a 2.500 na assistência técnica ou na manutenção de equipamentos de refrigeração com uma carga de 40 toneladas ou mais de equivalente de CO₂. Desta forma, surgiu a necessidade de analisar cada secador de ar e verificar o cumprimento ou não cumprimento face a estas novas regras. Na tabela 5.10 estão presentes os dados recolhidos de todos os secadores de ar comprimido de baixa pressão.

Tabela 5.10 – Informação sobre o fluido frigoriférico contido nos secadores de ar comprimido de baixa pressão

	Ano de construção	Tipo de fluido frigoriférico	GWP do fluido frigoriférico kg CO ₂	Volume de fluido frigoriférico kg	GWP do equipamento tons CO ₂
Ingersoll 1	2010	R-407c	1.774	14,50	25,72
Ingersoll 2	2002	R-407c	3.922	22,50	39,92
FD1600-1	2002	R-404a	3.922	27,00	105,89
FD1600-2	2013	R-404a	1.774	27,00	105,89

Tendo por base os dados acima apresentados, constata-se que os secadores FD1600 têm um GWP do equipamento superior a 40 ton de CO₂. Assim, conclui-se que estes equipamentos não cumprem o limite imposto pelo Regulamento.

Com a remoção destas máquinas, deixam de existir equipamentos que garantam o *backup* da secagem de ar comprimido de baixa pressão. Dado que as máquinas alocadas na produção da empresa necessitam de pontos de orvalho entre 3 °C e 5 °C, a melhor opção passa por selecionar secadores de ar por refrigeração. Desta forma, o autor propôs a implementação de dois secadores de refrigeração FD3000 VSD (com variação de velocidade), com capacidade de secagem para a simultaneidade de laboração de toda a central de produção 1. Estes equipamentos têm um GWP de 34,45 toneladas de CO₂ (fluido frigoriférico R 410a), cumprindo, desta forma, o limite imposto pela empresa. Dado estes secadores de ar terem variação de velocidade (ao contrário do secador Ingersoll 1), é vantajoso tornar o secador de ar Ingersoll 1 no *backup*, ficando os secadores FD3000 VSD como máquinas principais. Deste modo, o autor prevê uma poupança de 50% face aos atuais consumos de energia elétrica dos secadores de ar comprimido de baixa pressão. Estes compressores foram dimensionados tendo em conta o previsível aumento do caudal de ar comprimido de baixa pressão de 20%.

Na tabela 5.11 está presente a estimativa orçamental para os secadores de ar. No Anexo 13 está presente o orçamento detalhado e o *datasheet* do equipamento.

Tabela 5.11 – Estimativa orçamental para proposta de solução dos secadores de ar

	Quantidade	Custo total [€]
FD3000 VSD	2	120.400,00

5.3.3 Estimativa de poupança energética da medida de substituição

A realização de uma análise técnico-económica ao comportamento da nova potencial central de ar comprimido de baixa pressão (face ao atual caudal e ao incremento de 20%) é fundamental para uma tomada de decisão.

De forma a conhecer de um modo mais aprofundado o comportamento da nova central de produção de ar comprimido de baixa pressão analisou-se, através dos resultados obtidos pela empresa auditora, a distribuição do número de horas de trabalho de cada compressor.

Na tabela 5.12 estão presentes os resultados da simulação do funcionamento das centrais de produção de ar comprimido, durante uma semana de medição, face à implementação dos novos compressores na fase 1.

Tabela 5.12 – Comportamento das centrais de produção na fase 1

	ZR500 VSD	ZR355-1	ZR5-2	Ingersoll 1	Ingersoll 2
Horas de carga	155	151	1	0	168
Horas de vazio	2	14	11	0	0
Horas parado	11	3	156	168	0
Nº de arranques	40	18	5	0	1
Horas na zona ótima de funcionamento	149	-	-	-	-
Energia elétrica consumida [kWh/semana]			219.100,00		
Poupança face à atual central de produção [%]			3,00		

Tendo por base os dados acima apresentados, denota-se que os compressores ZR500 VSD e ZR355 acarretam, aproximadamente, a totalidade das horas de carga da central de produção 1. Durante este período, o compressor ZR5-2 apenas registou cinco arranques e uma hora de carga, permanecendo esta máquina a funcionar como *backup*. Complementarmente, salienta-se o facto do compressor ZR500 VSD registar cerca de 88% do tempo de operação na sua zona ótima de funcionamento.

Na tabela 5.13 encontram-se os resultados da simulação do funcionamento das centrais de produção de ar comprimido, durante o período de medição, face à implementação dos novos compressores na fase 2.

Tabela 5.13 – Comportamento das centrais de produção na fase 2

	ZR500 VSD	ZR355-1	ZR355-2	ZR355-3	Ingersoll 1	Ingersoll 2
Horas de carga	155	123	112	0	0	168
Horas de vazio	1	37	44	0	0	0
Horas parado	11	7	12	168	168	0
Nº de arranques	270	19	21	0	0	1
Horas na zona ótima de funcionamento	111	-	-	-	-	-
Energia elétrica consumida [kWh/semana]				259.115,00		
Poupança face à atual central de produção [%]				16,00		

Debruçando nos aspetos apresentados, constata-se que face a um aumento de 20% do caudal de ar comprimido de baixa pressão, a implementação desta solução na fase 2 revela-se essencial. É possível obter uma poupança de 16% do consumo de energia elétrica face ao desempenho que as atuais centrais de ar comprimido teriam com um aumento das necessidades de ar comprimido. Assim, o compressor ZR500 VSD e os dois compressores ZR355 estariam em constante funcionamento, existindo um *backup* através de um terceiro ZR355. Denota-se, também, uma diminuição do tempo de funcionamento da zona ótima do compressor ZR500 VSD (66%) e um aumento do número de arranques efetuados. É de frisar que estes resultados têm como base um caudal simulado e não um caudal medido. Desta forma, estes dois fatores podem não ser totalmente realistas, pois os *inputs* desta simulação têm como base o atual funcionamento do sistema de ar comprimido, tendo estes de ser ajustados face aos novos paradigmas.

De forma a complementar os resultados obtidos através da simulação da empresa auditora, selecionou-se um período de troca de turno (08h do dia 17 de junho de 2019), colocando os patamares das capacidades de produção dos novos compressores sobre o

gráfico. Na figura 5.6 está presente o perfil de consumos de ar comprimido e a variação de pressão durante esse período da central de produção 1.

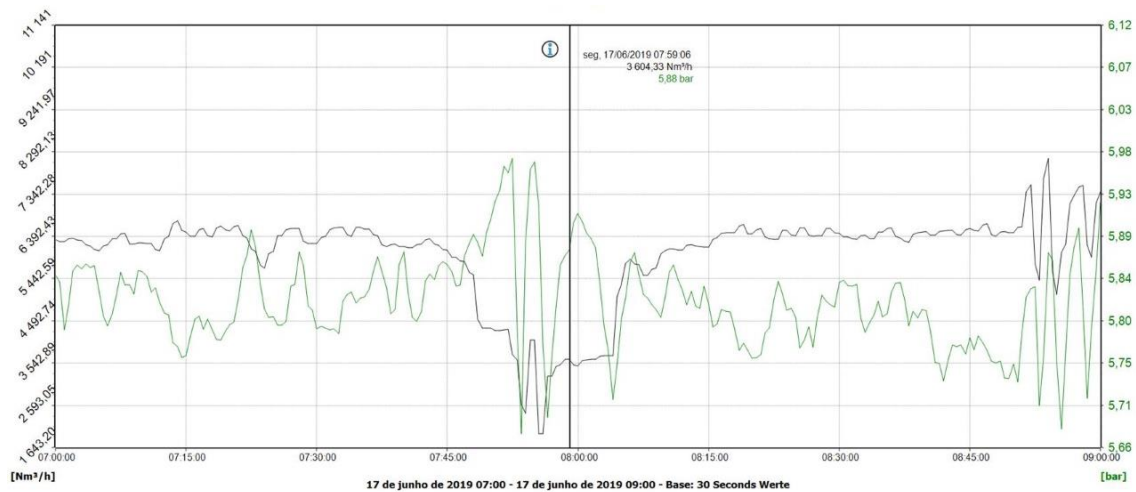


Figura 5.6 – Perfil do consumo e da pressão do ar comprimido de baixa pressão da central de produção 1

Tendo por base o gráfico acima apresentado, verifica-se que o caudal máximo debitado pelo compressor ZR500 VSD (4.700 Nm³/h) e pelo compressor ZR355 (3.331 Nm³/h) satisfazem, na plenitude, as necessidades de ar comprimido de baixa pressão da central de produção 1. Contudo, após as 08:45h verifica-se uma variação brusca do caudal e da pressão, podendo ter origem na falta de capacidade da atual central de produção e, por conseguinte, originando ciclos consecutivos de carga/vazio. Durante o período da troca de turno, o caudal diminui para cerca de 1.700 Nm³/h, acima do mínimo caudal produzido pelo compressor ZR500 VSD (1.317 Nm³/h).

Assim, é possível concluir que a nova central de ar comprimido tem uma resposta adequada face às necessidades de ar comprimido de baixa pressão da Continental.

5.3.4 *Layout* da nova central de produção de ar comprimido de baixa pressão

De forma a validar a implementação da nova central de produção de ar comprimido de baixa pressão, apresentam-se dois *layouts* diferentes para a disposição das novas máquinas e das máquinas já existentes na central de produção 1, sendo, para isso, realizada uma análise detalhada da disponibilidade física e, ainda, dos custos associados.

Para a realização do estudo da distribuição das novas máquinas na central de produção 1, são propostas duas alternativas de *layout* diferentes, tanto para a fase de implementação 1 como para a fase de implementação 2. Numa primeira fase, é importante expor a atual distribuição das máquinas da central de produção 1 (figura 5.7).

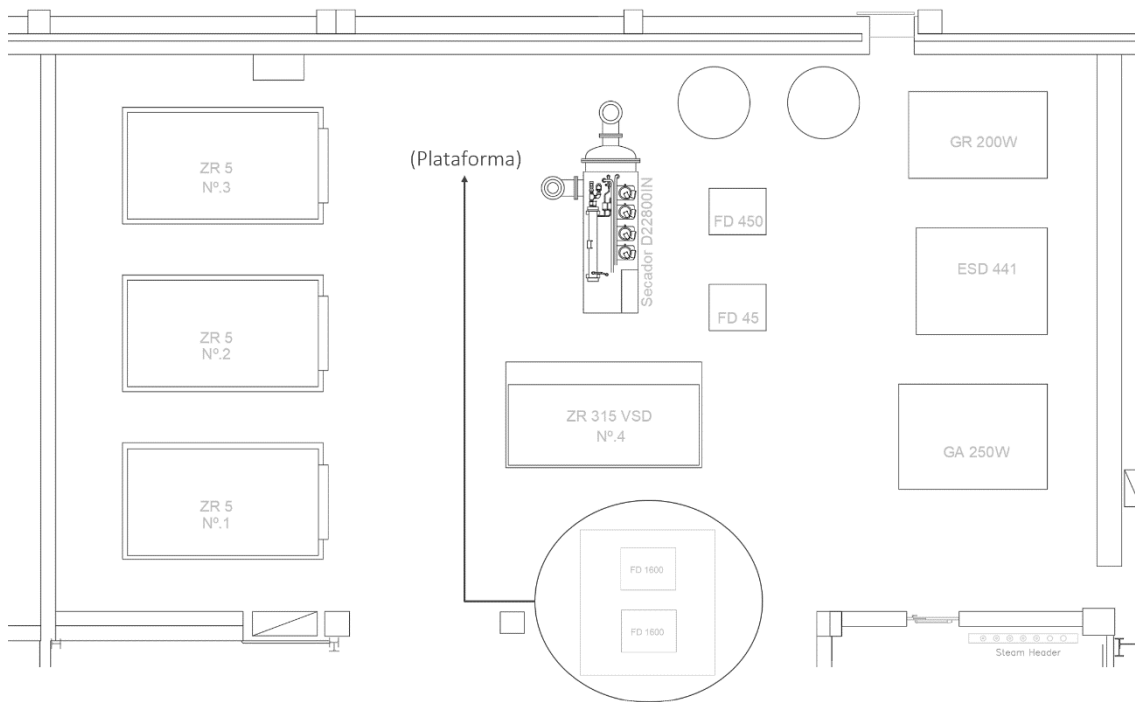


Figura 5.7 – *Layout* atual da central de produção 1

Os compressores de produção de ar comprimido de alta pressão e o respetivo tratamento localizam-se no lado direito da sala. Quanto aos equipamentos afetos à produção de ar comprimido de baixa pressão, estes localizam-se ao centro e do lado esquerdo da sala (com exceção dos dois secadores Atlas Copco FD1600 que estão localizados numa plataforma).

- Proposta de *Layout* 1

Na figura 5.8 consta a proposta para a alteração da distribuição das máquinas presentes na central de produção 1 na fase de implementação 1⁹.

⁹ O vermelho simboliza a introdução de novas máquinas e o amarelo as movimentações de máquinas existentes.

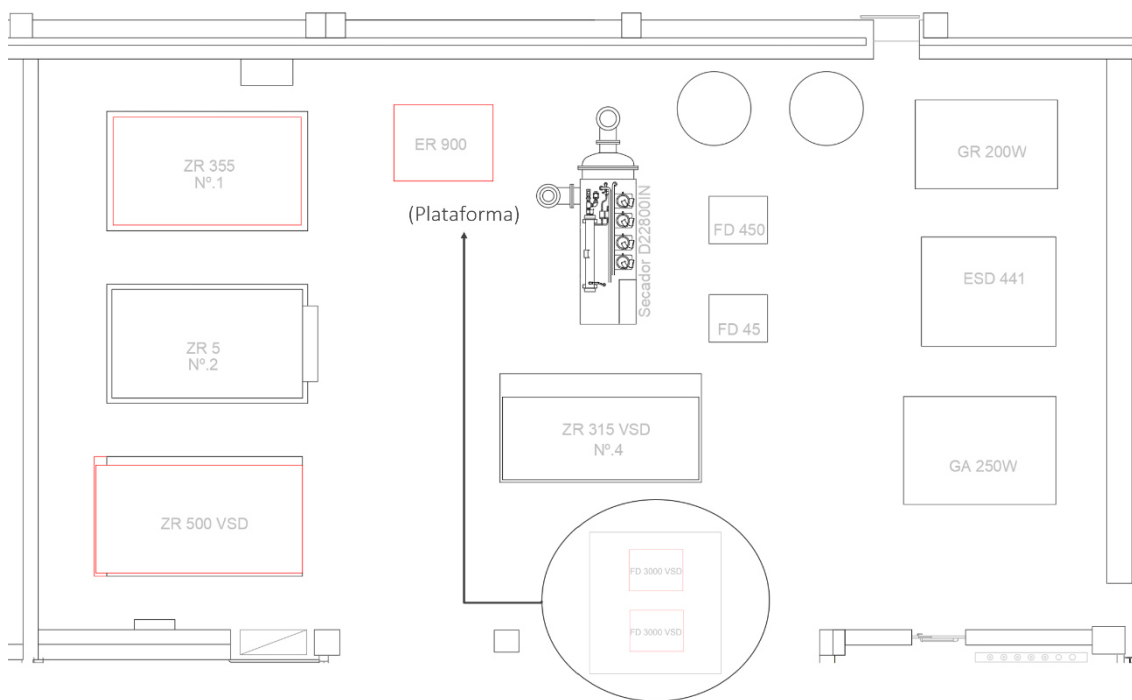


Figura 5.8 – Proposta de *Layout 1* para a primeira fase de implementação

A primeira alternativa para a adaptação da sala dos compressores à primeira fase de implementação passa por remover o compressor ZR5-3 (obsoleto) e colocar o compressor ZR355 nesse local; trocar o compressor ZR5-1 pelo compressor ZR500 VSD; remover os secadores de ar FD1600; implementar na plataforma os secadores FD3000 VSD e colocar o recuperador de energia térmica (ER900) no espaço entre o compressor ZR355 e o secador Ingersoll 1.

Na tabela 5.14 estão presentes os custos associados a esta alteração de *layout*. O orçamento e a descrição detalhada dos trabalhos a serem realizados estão presentes no Anexo 14¹⁰.

Tabela 5.14 – Custos associados à proposta de *layout 1* para a primeira fase de implementação

	Custo [€]
Custo da instalação elétrica	35.000,00
Custo da alteração de <i>layout</i>	97.400,00
Total	132.400,00

Numa segunda fase de implementação, é necessário inserir dois compressores ZR355 na sala dos compressores 1. Na figura 5.9 é possível verificar a proposta para a alteração

¹⁰ O orçamento referente às novas instalações elétricas refere-se a valores estimados. A estimativa orçamental referente à movimentação de compressores e sacadores e alteração do *layout* são valores orçamentados pela Atlas Copco.

da distribuição das máquinas presentes na central de produção 1 numa segunda fase de implementação.

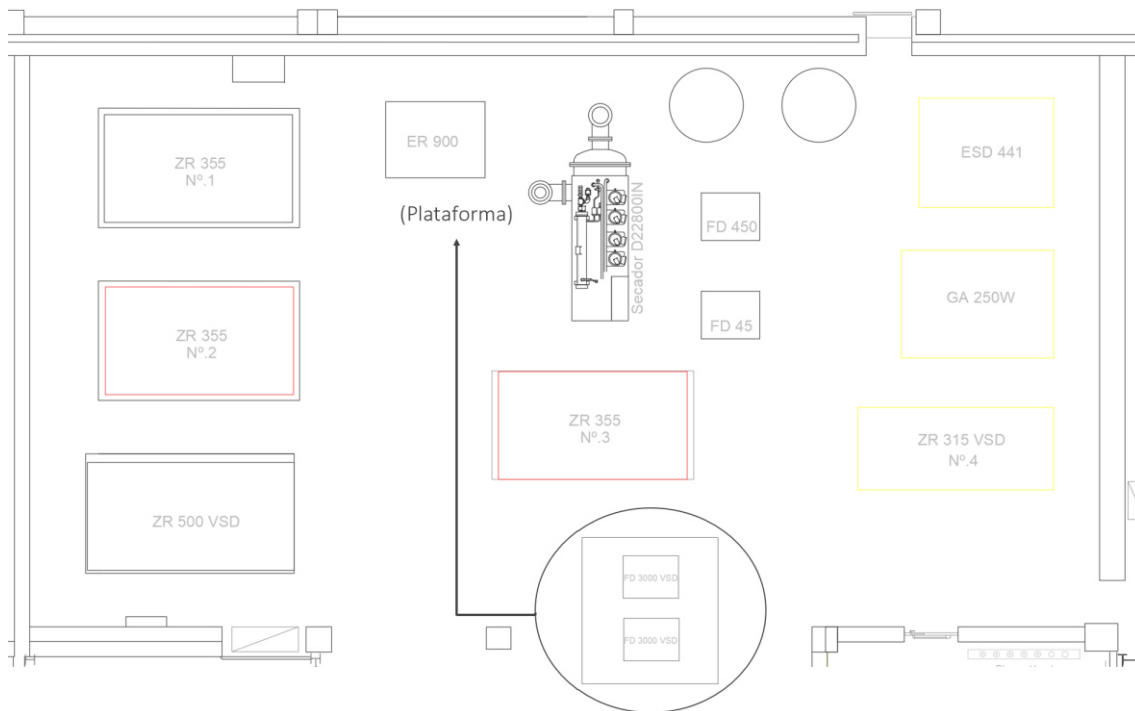


Figura 5.9 - Proposta de *Layout 1* para a segunda fase de implementação

É proposto como solução para a implementação da segunda fase de implementação a substituição do compressor ZR5-2 por um compressor ZR355-2; remoção do compressor GR200 e a deslocação, em simultâneo, do compressor ESD441 para o seu lugar; colocação do compressor GA250 no local do compressor ESD441 e, por fim, a transferência da máquina ZR315 VSD para a ala de alta pressão, colocando um terceiro compressor ZR355 nesse local.

Não é possível apresentar um custo da alteração de *layout* da segunda fase de implementação, pois o autor não a estimou.

- Proposta de *Layout 2*

A segunda alternativa para a distribuição das máquinas na sala de compressores 1, numa primeira fase, passa por reorganizar os equipamentos de uma forma equivalente ao proposto na primeira alternativa de *layout* para uma segunda fase de implementação. Na figura 5.10 está presente a segunda proposta de *layout* para a fase de implementação 1.

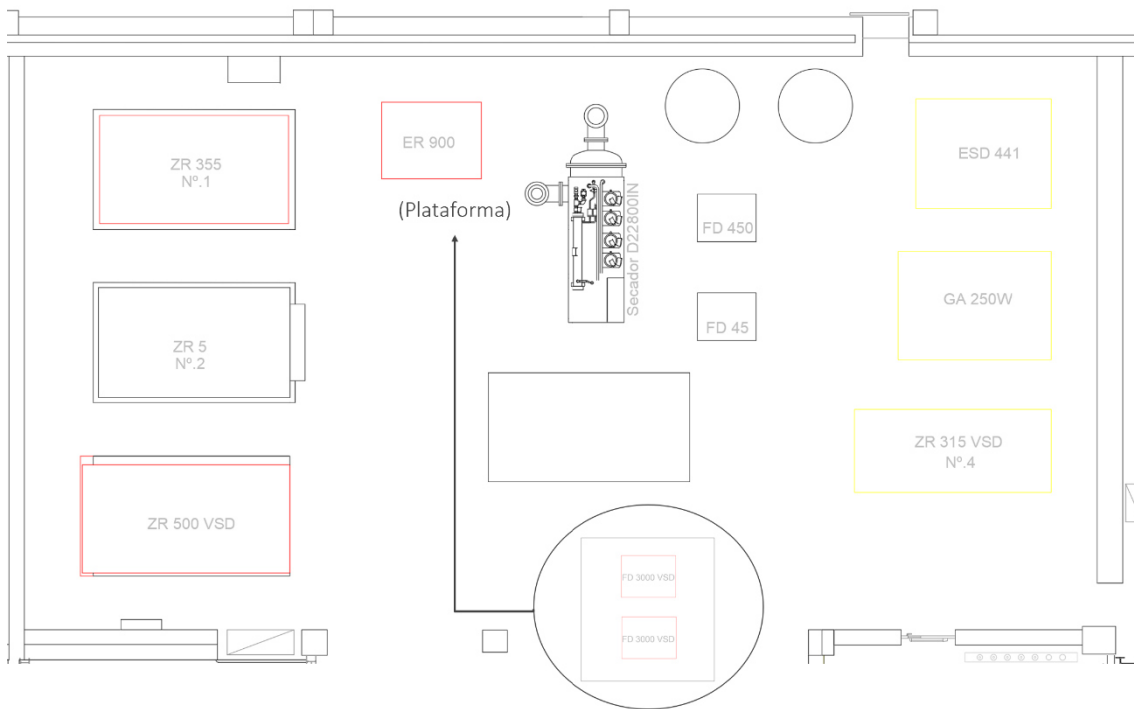


Figura 5.10 - Proposta de *Layout 2* para a primeira fase de implementação

Numa primeira fase é proposto efetuar uma reorganização da central de ar comprimido de alta pressão (sugerido na proposta de *layout 1* apenas na segunda fase de implementação). Por outro lado, é realizada a implementação dos novos compressores de baixa pressão (ZR500 VSD e ZR355-1), dos secadores de ar FD3000 VSD e do recuperador de energia térmica ER900, nos mesmos moldes da primeira proposta de distribuição dos equipamentos na sala dos compressores.

Na tabela 5.15 encontram-se os custos associados a esta alteração de *layout*. O orçamento e a descrição detalhada dos trabalhos a serem realizados estão presentes no Anexo 15¹¹.

Tabela 5.15 – Custos associados à proposta de *layout 2* para a primeira fase de implementação

	Custo [€]
Custo da instalação elétrica	35.000,00
Custo da alteração de <i>layout</i>	116.400,00
Custo da alteração elétrica (movimentação dos compressores existentes)	53.000,00
Total	204.400,00

¹¹ O orçamento referente às alterações e novas instalações elétricas referem-se a valores estimados. A estimativa orçamental referente à movimentação de compressores e secadores e alteração do *layout* são valores orçamentados pela Atlas Copco.

Por último, numa segunda fase de implementação é apresentada na figura 5.11 a proposta para a distribuição das máquinas na sala dos compressores.

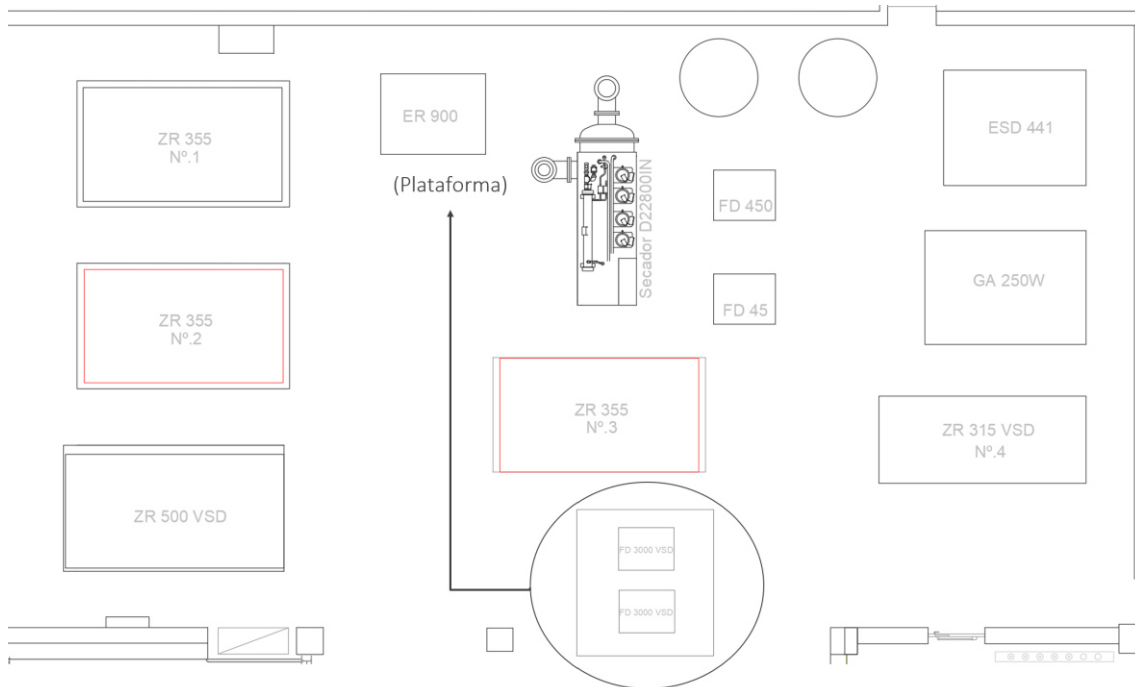


Figura 5.11 - Proposta de *Layout 2* para a segunda fase de implementação

Nesta segunda fase, dado que o local no qual estava presente o compressor ZR315 VSD está livre, é inserido nesse ponto o compressor ZR355-3. É também realizada uma troca do compressor ZR5-2 pelo compressor ZR355-2.

Pelo mesmo motivo apresentado anteriormente, não é possível apresentar um custo da alteração de *layout* da segunda fase de implementação.

5.4 Recuperação de Energia Térmica

Para a implementação do recuperador de calor na instalação, é necessário relembrar que no circuito de água utilizada para as caldeiras tem uma série de quatro permutadores de calor. Por este motivo, é necessário perceber o impacto desta solução nesses permutadores (em termos de variações de caudal e temperaturas atuais), visto que pode prejudicar o rendimento dos mesmos.

O aumento da temperatura à entrada dos permutadores HE02, HE03 e HE04 não influenciam o bom desempenho dos mesmos, pois estes trabalham com temperaturas muito superiores às que saem do permutador HE01 atualmente. Neste momento estão a ser utilizados *bypass's* ao caudal desses permutadores (2, 3 e 4) de modo a evitar que a baixa temperatura atual afete os mesmos. Por outro lado, se existir uma modificação do caudal ou da temperatura a jusante do permutador HE01, o seu rendimento diminui.

Deste modo, a temperatura à saída deste permutador (conduzida para o esgoto) não poderá sofrer alterações, pois diminuirá a poupança económica que é realizada, atualmente, através deste equipamento.

Assim, a melhor solução para localizar o recuperador de energia é a jusante do permutador HE01 e a montante do permutador HE02. Na figura 5.12 está presente um esquema simplificado da proposta de localização deste equipamento.

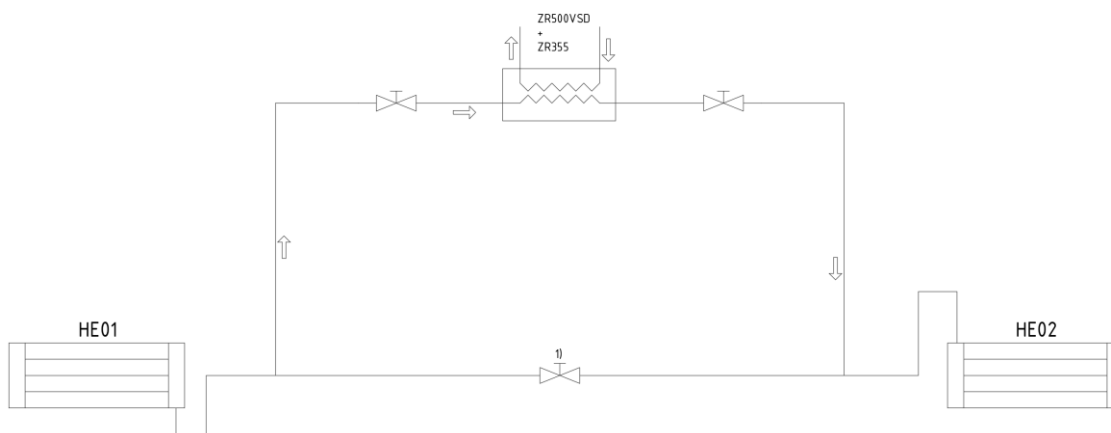


Figura 5.12 – Localização do recuperador de energia na instalação existente

Após definida a melhor localização para o recuperador de energia térmica, é necessário analisar a energia recuperável (ZR500 VSD + ZR355). Dada a impossibilidade de realizar um estudo detalhado sobre os caudais e temperaturas da água envolvidas, optou-se por expor os potenciais recuperáveis, através de possíveis percentagens de recuperação. Dessa forma, encontram-se na tabela 5.16 as poupanças energéticas obtidas para 100%, 75% e 50% da totalidade da energia térmica recuperável disponível.

Tabela 5.16 – Energia disponível para a recuperação de calor dos compressores ZR500VSD e ZR355¹²

	Energia Recuperável (100%)	Energia Recuperável (75%)	Energia Recuperável (50%)
	kWh/ano	kWh/ano	kWh/ano
Fase 1	2.980.715,00	2.235.535,71	1.490.357,14
Fase 2	3.063.257,00	2.297.442,86	1.431.628,57

¹² Valores extraídos da simulação dinâmica realizada pela empresa auditora, tendo por base o funcionamento da nova central, adaptada às necessidades atuais da Continental Mabor.

5.5 Análise de investimento à otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão

Este subcapítulo debruça-se sobre a análise de investimento associado às medidas propostas, com vista à otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão. Para a realização dos cálculos considerou-se um custo de energia elétrica e da produção de vapor de 0,088 €/kWh e 0,023 €/kWh, respetivamente (valores presentes no orçamento de 2019 da Continental Mabor).

Numa primeira fase realizou-se a análise da poupança anual de energia elétrica da solução apresentada, durante a fase de implementação 1 e 2 (adaptada à realidade dos consumos de energia elétrica da Continental Mabor no ano de 2018)¹³. Esta análise está presente na tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Poupança anual de energia elétrica da proposta de solução.

	Poupança anual					
	Fase 1			Fase 2		
	%	kWh	€	%	kWh	€
Compressores de baixa pressão	3	350.939,59	30.882,68	16	2.263.595,92	199.196,44
Troca do ZR315 VSD para a linha de alta pressão	20	419.812,00	36.943,56	-	-	-
Secadores	50	34.668,00	3.050,78	-	-	-
Total	-	805.419,59	70.877,02	-	2.263.595,92	199.196,44

É também possível analisar o impacto financeiro da implementação do recuperador de energia térmica nesta solução. Esta implementação reduz o custo anual associado à produção de vapor. Na tabela 5.18 está presente a poupança expectável com a aplicação desta medida¹⁴.

Tabela 5.18 – Poupança anual no custo de produção de vapor

	Poupança anual			
	Fase 1		Fase 2	
	kWh	€	kWh	€
ER900	2.980.715,00	68.556,43	3.063.257,00	70.454,91

¹³ Incluindo a proposta de solução para colocação do compressor ZR315 VSD na linha de produção de alta pressão.

¹⁴ Análise realizada considerando o aproveitamento de 100% da energia térmica disponível.

Por fim, é possível analisar a poupança total e o tempo previsto para o retorno do investimento (através de um *payback* simples).

A análise da primeira fase de implementação é necessariamente dividida em três partes. Numa primeira parte é contabilizada a implementação do recuperador de energia, a troca do compressor ZR315 VSD para o ar comprimido de alta pressão e a aquisição do compressor ZR500 VSD. Apenas os custos associados a esta alteração serão utilizados para o cálculo do retorno do investimento, dado ser uma alteração necessária para o aumento da eficiência da produção de ar comprimido.

Numa segunda parte são apresentados os custos associados à troca do compressor ZR5-2 pelo compressor ZR355. Esta troca acontece dada a falta de fiabilidade do compressor ZR5-2, não sendo calculado o retorno do investimento desta alteração.

A última parte diz respeito à troca dos dois secadores FD1600 pelos dois secadores FD3000 VSD. Dada esta alteração ser obrigatória, não será igualmente calculado o seu retorno do investimento.

Na tabela 5.19 apresenta-se a análise realizada à primeira fase de implementação da proposta de solução.

Tabela 5.19 – Investimento, poupança anual e retorno do investimento da primeira fase de implementação

	Primeira fase de implementação					
	Layout 1			Layout 2		
	Parte 1	Parte 2	Parte 3	Parte 1	Parte 2	Parte 3
Investimento ¹⁵ [€]	416.460,00	219.510,00	169.100,00	488.460,00	*16	*16
Poupança anual [€]	136.382,57	-	3.050,78	136.382,57	-	*16
Retorno do investimento [anos]	3,1	-	-	3,6	-	-

O investimento inicial global, que inclui a alteração ao *layout* da central, é estimado em 805.070,00 € e 877.070,00 € (proposta de *Layout 1* e *Layout 2*, respetivamente), resultando num período de retorno do investimento de 5,9 anos (*Layout 1*) e 6,4 anos (*Layout 2*). No entanto, excluindo, por obsolescência do equipamento, o investimento

¹⁵ Incluindo equipamento, alterações eléctricas e alterações do *layout*.

¹⁶ Valores iguais ao investimento da proposta de *Layout 1*.

da substituição de um dos atuais compressores e dos secadores de ar, o período de retorno do investimento é de 3,1 anos (*Layout 1*) e de 3,6 anos (*Layout 2*).

No que concerne aos resultados obtidos face à segunda fase da implementação, estes são apresentados na tabela 5.20. É de referir que apenas se expõe o investimento relacionado com os equipamentos e a previsível poupança anual. Os custos relativos à alteração de *layout* nesta segunda fase não foram estimados.

Tabela 5.20 – Investimento e poupança anual da segunda fase de implementação

Segunda fase de implementação	
Investimento [€]	397.620,00
Poupança anual [€]	269.651,36

5.6 Síntese dos resultados

Este subcapítulo tem por objetivo a realização de uma síntese das medidas que dão origem à proposta de solução para otimização energética da produção de ar comprimido de baixa pressão da Continental Mabor.

Inicialmente, apresenta-se uma comparação do consumo específico de energia elétrica, do custo do ar comprimido de baixa pressão e da disponibilidade de reserva existente da nova central de produção face à atual (tabela 5.21).

Tabela 5.21 – Resumo das melhorias alcançadas com a implementação da proposta de solução

	Consumo específico de energia elétrica		Custo do ar comprimido de baixa pressão		Disponibilidade de reserva	
	kWh/Nm ³		cent./Nm ³		%	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Central atual	0,105	0,108	0,92	0,95	32	19
Proposta de solução	0,102	0,091	0,90	0,80	40	28

Através da análise dos resultados mencionados na tabela anterior, verifica-se uma redução do consumo específico de energia elétrica e do custo do ar comprimido de baixa pressão na fase de implementação 1. Durante a fase de implementação 2, com o aumento de 20% no caudal de ar comprimido, essa redução torna-se mais acentuada. Quanto à disponibilidade de reversa, apura-se o aumento da mesma, tanto na fase 1 como na fase 2, quando comparado com a central de produção de ar comprimido atual.

Por último, apresenta-se um resumo dos investimentos e das poupanças totais da primeira e da segunda fases de implementação e respetivos períodos de retorno

simples, tanto para a proposta de alteração de *layout* 1, como para a proposta de alteração de *layout* 2 (tabela 5.22).

Tabela 5.22 – Resumo das poupanças e investimentos finais da proposta de solução

	<i>Layout</i> 1		<i>Layout</i> 2	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Investimento para melhoria de eficiência [€]	416.460,00 ¹⁷	397.620,00 ¹⁸	488.460,00 ¹⁷	397.620,00 ¹⁸
Investimento para troca de compressor por obsolescência (ZR355) [€]	219.510,00 ¹⁹	-	219.510,00 ¹⁹	-
Investimento para substituição dos secadores [€]	169.100,00 ²⁰	-	169.100,00 ²⁰	-
Investimento total [€]	805.070,00	397.620,00	877.070,00	397.620,00
Poupança anual total [€]	139.433,35	269.651,36	139.433,35	269.651,36
Retorno do investimento [anos]	3,1 ²¹	-	3,6 ²¹	-

¹⁷ Valor inclui equipamento (ZR500VSD), alterações elétricas e alterações do *layout*.

¹⁸ Valor inclui equipamento (2 x ZR355).

¹⁹ Valor inclui equipamento (ZR355) e alterações de *layout*.

²⁰ Valor inclui equipamento (2 x FD3000 VSD) e alterações de *layout*.

²¹ Retorno do investimento calculado excluindo substituição por obsolescência e substituição dos secadores.

TRABALHO COMPLEMENTAR

6.1 PROPOSTA DE MELHORIA DA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO DO CONTISEAL

6 TRABALHO COMPLEMENTAR

Este capítulo destina-se a apresentar uma análise complementar realizada no decorrer do estágio. Dentro do núcleo da Continental Mabor existe uma unidade de produção chamada ContiSeal. Esta unidade fabrica pneus com uma tecnologia desenvolvida pela própria Continental, que permite vedar furos no piso dos mesmos (Continental, 2018). Assim, dado que esta unidade necessita de ar comprimido de baixa pressão, estudou-se a possibilidade de ser alimentada através da central de produção 1.

6.1 Proposta de melhoria da central de ar comprimido do ContiSeal

A unidade de produção do ContiSeal encontra-se num edifício diferente da fábrica principal da Continental Mabor. Para a produção do ar comprimido desta unidade é utilizado um compressor que está a trabalhar fora do seu regime ótimo e muito abaixo das suas capacidades. Por este motivo, esta central de produção é energeticamente pouco eficiente. Deste modo, realizou-se um estudo para perceber quais os benefícios energéticos associados à passagem da produção do ar comprimido do ContiSeal para a central de produção 1. Recorreu-se aos dados do período compreendido entre 27 de março de 2019 e 02 de abril de 2019, sendo este um intervalo de tempo sem oscilações, sendo considerado um período típico. Para realizar esta análise foi calculado o consumo específico de energia elétrica desta central de produção de ar comprimido, de forma a perceber se existe algum potencial de melhoria (tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Estimativa das poupanças alcançadas com a melhoria da central de ar comprimido de ContiSeal

Consumo específico de energia elétrica do ContiSeal	Consumo específico da nova central de produção 1	Caudal total produzido no ContiSeal (2018)	Poupança anual
kWh/Nm ³	kWh/Nm ³	Nm ³ /h	€
0,158	0,102	2.158.196,33	10.635,59

Tendo por base os resultados acima apresentados, consta-se que o consumo específico de energia elétrica da central de produção de ar comprimido do ContiSeal é bastante elevado. Desta forma, dado o aumento da disponibilidade da central de produção 1 após

a primeira fase de implementação das propostas de solução, torna-se atrativo alocar as necessidades de ar comprimido do ContiSeal à central de produção 1. Complementarmente, os consumos de ar do ContiSeal representam apenas 4% da totalidade do ar comprimido produzido na central de produção 1 durante o ano de 2018. Assim, conclui-se que existe um potencial de melhoria da central de produção de ar comprimido do ContiSeal.

Contudo, é necessário um estudo mais aprofundado sobre este assunto, de forma a conhecer as reais necessidades dos equipamentos presentes no ContiSeal, o impacto que esta solução traria para o aumento da pressão de funcionamento da central de produção 1, assim como o investimento necessário para a adaptação das infraestruturas (o ContiSeal encontra-se num edifício separado a uma distância de aproximadamente 300 m).

CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÕES

7.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

7 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

7.1 Conclusões

Este projeto debruçou-se essencialmente na otimização energética da central de ar comprimido de baixa pressão da Continental Mabor, tendo como objetivo final reduzir a energia elétrica utilizada para a compressão do ar comprimido de baixa pressão e os respetivos custos associados.

Após a realização de todas as análises necessárias para a resolução do problema proposto, obteve-se um consumo específico de energia elétrica de 0,105 kWh/Nm³ e um custo da produção de ar comprimido de baixa pressão de 0,92 cent./Nm³. Desta forma, o autor conclui que existe uma margem de melhoria em certos períodos de laboração, elaborando uma proposta solução. Com base no diagnóstico realizado pelo autor contactou-se uma empresa especializada em ar comprimido (Atlas Copco) com o intuito de realizarem uma auditoria energética e uma simulação dinâmica do comportamento de novas máquinas face às necessidades de ar comprimido de baixa pressão registadas no período da auditoria. Desta forma, foi possível quantificar as poupanças energéticas obtidas e obter as propostas comerciais dos novos equipamentos.

Com a proposta de solução apresentada para o cenário atual de necessidades de ar comprimido de baixa pressão, é previsível reduzir em 3% o consumo específico de energia elétrica (0,102 kWh/Nm³) e o custo do ar comprimido de baixa pressão para 0,90 cent./Nm³. É ainda proposta a implementação de um recuperador de energia térmica que poderá resultar numa poupança energética associada à produção de vapor até 68.556 €/ano. No global, é expectável uma poupança total de 139.433 €/ano. Assim, é previsível um impacto de 0,51% na fatura de energia elétrica anual da empresa e de 2,5% na fatura anual de combustível associada à produção de vapor.

Para o cenário com um incremento de 20% de ar comprimido de baixa pressão face ao atual cenário, é previsível reduzir em 16% o consumo específico de energia elétrica (0,091 kWh/Nm³) e o custo do ar comprimido de baixa pressão para 0,80 cent./Nm³, o que significa uma poupança de 199.196 €/ano. É ainda proposta a implementação de um recuperador de energia térmica que poderá resultar numa poupança energética

associada à produção de vapor até 70.454 €/ano. No global, é expectável uma poupança total de 269.651 €/ano. Esta solução prevê uma poupança de 1,4% na fatura de energia elétrica anual da empresa e de 2,6% na fatura anual de combustível associada à produção de vapor.

Para ambas as fases de implementação são sugeridas duas alternativas de *layout* para a nova central de produção de ar comprimido de baixa pressão, ficando ao critério da empresa qual a que se ajusta de melhor forma às suas necessidades. Para a primeira fase de implementação são previstos investimentos de 805.070 € e 877.070 € para a alternativa de *Layout 1* e *Layout 2*, respetivamente, com uma poupança de 139.433 €/ano. Para a segunda fase de implementação são previstos investimentos de 397.620 € e uma poupança de 269.651 €/ano, para ambas as alternativas de *layout*. O retorno do investimento durante a primeira fase de implementação pode variar entre 3,1 anos e 3,6 anos para a alternativa de *Layout 1* e *Layout 2*, respetivamente.

Paralelamente, recomenda-se a substituição de dois secadores de ar comprimido de baixa pressão por não cumprirem o requisito mínimo do seu GWP imposto pela Continental. Como tal, propôs-se a alteração desses equipamentos por dois secadores de ar com uma maior capacidade e com tecnologia de variação de velocidade, o que significa uma poupança de 3.050 €/ano.

Complementarmente ao trabalho realizado, foi, ainda, realizada uma análise à central de produção do ContiSeal, constatando-se um consumo específico de energia elétrica de 0,158 kWh/Nm³. Desta forma, estudou-se a possibilidade de transferência da central de produção de ar comprimido do ContiSeal para a central de produção 1, o que significa uma poupança de 10.635 €/ano.

É possível concluir que a proposta de solução cumpre com o objetivo inicial do projeto: reduzir a energia elétrica utilizada no sistema de produção de ar comprimido de baixa pressão e utilizar o calor gerado na sua produção para outros processos, nomeadamente para o pré-aquecimento de água utilizada pelas caldeiras de produção de vapor. É ainda de salientar a viabilidade da sua implementação face ao reduzido *payback* e à sua exequibilidade por simples adaptação da atual central.

Este projeto transportou para a realidade o facto de que um pequeno estudo pode mudar radicalmente o modo de funcionamento de uma fábrica e trazer enormes poupanças para a mesma.

7.2 Propostas de trabalhos futuros

Este projeto é uma continuação de um projeto realizado pelo autor, com o intuito de estudar a otimização da produção de ar comprimido de alta pressão. Durante esse projeto propôs-se a transição de um compressor presente na central de produção de baixa pressão para a linha de ar comprimido de alta pressão. Deste modo, surgiu a necessidade do estudo realizado no presente projeto.

Depois de concluído o projeto da otimização da produção de ar comprimido de baixa pressão ficam em aberto três temáticas fundamentais que carecem de um estudo aprofundado.

Como primeira proposta para trabalhos futuros, sugere-se o estudo de otimização da rede de refrigeração da central de produção, nomeadamente a otimização das torres de arrefecimento e do grupo de bombagem. Com a implementação do recuperador de energia as torres de arrefecimento têm um trabalho mais reduzido. Assim, dado que os ventiladores das torres de arrefecimento apenas são munidos de uma velocidade de rotação e que as bombas circuladoras não têm variação de velocidade, é necessário estudar qual a solução mais eficiente. A aquisição de novas máquinas levanta a questão das torres de circuito aberto serem a melhor alternativa para refrigerar as novas máquinas, dada a qualidade da água.

Como segunda proposta para um trabalho futuro, recomenda-se um estudo mais aprofundado sobre a análise complementar realizada sobre a otimização da central de produção do ContiSeal. Assim, torna-se necessário perceber qual o impacto que esta solução acarreta para o bom funcionamento da central de produção 1 e qual o investimento necessário para adaptar as infraestruturas da empresa a esta realidade. Em acréscimo, é necessário analisar quais as limitações e necessidades de ar comprimido do ContiSeal de forma a não colocar em causa o bom funcionamento desta unidade.

Por último, como terceira proposta para um trabalho futuro, seria interessante analisar as fugas de ar da rede de ar comprimido de baixa pressão, dado que estas representam a maioria das perdas energéticas num sistema de ar comprimido. Assim, a sua correção pode originar elevadas reduções do consumo de energia elétrica associado ao ar comprimido.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

8 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Abushakra, B., Akers, L. W., Baxter, V. D., Hayter, S. J., Paranjpey, R. P., Yount, F. S., & Yuill, D. P. (2017). Refrigerants. In Owen, M. S., & Kennedy, H. E. (Eds.), *2017 ASHRAE Handbook Fundamentals SI* (pp. 29.1-29.12). Atlanta: IP and SI Editions.

Adene (2017). *Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido*. Lisboa: Autor.

Amorim, J. C. C., Filho, N. M., & Oliveira, W. (2002). *Mecânica dos Flúidos* (White, F. M., Trad.). Rio de Janeiro: McGraw-Hill.

Anakhu, P. I., Bolu, C. A., Abioye, A. A., & Onyiagha, G. (2018). Cost-effectiveness management of a compressed-air system using an energy analysis application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 413 (012015), 1-7. doi: 10.1088/1757-8991x/413/1/012015

Atlas Copco (1976). *Manual do ar comprimido*. São Paulo: McGraw-Hill.

Atlas Copco (1998). *Atlas Copco: Secadores de ar: FD(W) 560, -700, -850, -950, -1200, -1600, Livro de Instruções*. Antuérpia: Autor.

Atlas Copco (2001). *Atlas Copco: Compressores de Ar Estacionários: ZR160 VSD – ZR315 VSD, Manual de Instruções*. Antuérpia: Autor.

Atlas Copco Airpower NV (2015). *Atlas Copco Compressed Air Manual* (8^a Edição). Belgium: Autor.

Atlas Copco (2018a). *Home, Compressores, Wiki de ar comprimido, Artigos de ar comprimido, Contaminantes presentes no ar comprimido*. Retirado de <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/compressors/wiki/compressed-air-articles/contaminants-in-air> (13/03/2019).

Atlas Copco (2018b). *Home, Compressores, Compressores, Wiki de ar comprimido, Artigos de ar comprimido, Secagem do ar comprimido*. Retirado de <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/compressors/wiki/compressed-air-articles/drying-compressed-air> (13/03/2019).

Atlas Copco (2018c). *Home, Compressores, Compressores, Wiki de ar comprimido, Artigos de ar comprimido, Secagem do ar comprimido: secadores por refrigeração*. Retirado de <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressores/compressores/wiki/compressed-air-articles/refrigerant-dryer> (13/03/2019).

Atlas Copco (2018d). *Home, Compressores, Compressores, Wiki de ar comprimido, Artigos de ar comprimido, Remoção de contaminantes do ar*. Retirado de <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressores/compressores/wiki/compressed-air-articles/removing-contaminants-from-air> (13/03/2019).

Atlas Copco (2018e). *Home, Compressores, Compressores, Wiki de ar comprimido, Artigos de ar comprimido, Que secador preciso para o meu compressor?*. Retirado de <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressores/wiki/compressed-air-articles/choosing-a-dryer> (06/06/2020).

Benedetti, M., Bertini, I., Bonfà, F., Ferrari, S., Introna, V., Santino, D., & Ubertini, S. (2017). Assessing and improving compressed air systems' energy efficiency in production and use: findings from an explorative study in large and energy-intensive industrial firms. *best Procedia*, 105 (2017), 2112-2117. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.653

Bonfà, F., Salvatori, S., Benedetti, M., Introna, V., & Ubertini, S. (2017). Monitoring compressed air systems energy performance in industrial production: lesson learned from an explorative study in large and energy-intensive industrial firms. *Energy Procedia*, 143 (2017), 396-403. doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.702

BOSCH (2008). *Tecnologia de ar comprimido*. Campinas: Autor.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2004). Refrigeration Cycles. In *Thermodynamics: An engineering Approach* (pp. 607-649). New York: McGraw Hill.

Coelho, R. L. (2009). On the concept of energy: History and philosophy for science teaching. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 1 (2009), 2648-2652. doi: 10.1016/j.sbspro.2009.01.468

Despacho nº 1859/2003, de 30 de janeiro de 2003. Regulamento de Instalação, Funcionamento, Reparação e Alteração de Equipamentos sob Pressão. Diário da República, 25, Série II.

Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V., & Stojiljković, M. (2012a). Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography. *Measurement*, 45 (2012), 1689-1694. doi: 10.1016/j.measurement.2012.04.019

- Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V., & Stojilković, M. (2012b). Leakage quantification of compressed air on pipes using thermovision. *Thermal Science*, 16 (2), S555-S565. doi: 10.2298/TSCI120503191D
- Evapco Inc (2008). *Instruções de Manutenção: Torres de arrefecimento abertas, torres de arrefecimento em circuito fechado e condensadores evaporativos*. Westminster: Author.
- Facão, J. M. (1999). *Comportamento Térmico de Torres de Arrefecimento Indirectas para Aplicação a Sistemas de Arrefecimento Ambiente* (dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Falih, A. H. (2018). Effect of using R-22, R404 and RR-407C on performance of an air-conditioning system. *Journal of engineering and sustainable development*, 22 (5), 200-214. doi: 10.31272/jeasd.2018.5.15
- Feynman, R., Leighton, R. B. & Sands, M. (1966). *The Feynman Lectures on Physics (Vol. 1. 2nd ed.)*. California: Addison-Wesley Pub. Co.
- Figueiredo, J. (2016). *Gestão de uma Rede de Ar Comprimido* (dissertação de mestrado). Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Fleiter, T., & Eichhammer, W. (2012). *Energy efficiency in electric motor systems: Technology, saving potentials and policy options for developing countries*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- Hall, S. M. (2018). *Rules os Thumb for Chemical Engineers* (6ª Edição). Amsterdam: Elsevier Inc.
- Helvoirt, V. J. (2007). Centrifugal compressor surge: modeling and identification for control. *Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven*. doi: 10.6100/IR629084
- Indah, N., Kusuma, Y., & Mardani (2017). Compressed air quality, a case study in paiton coal fired power plant unit 1 and 2. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 343 (2018), 1-10. doi: 10.1088/1757-899X/343/1/012031
- Ingersoll Rand (2006). *Centac C950*. USA: Autor.
- Ingersoll Rand (2008). *Large Capacity Refrigerated Dryers*. United Kingdom: Autor.
- ISO 8573 – 1: 2010. *Compressed air – Part 1: Contaminants and purity classes*. Switzerland: International Organization for Standardization.

- Jabardo, J. M., Zerbine, E., Júnior, S. O., & Ikeda, S., (1985). *Refrigeração e Ar Condicionado* (Stoecker, W. F., Jones, J. W., Trad). São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, Ltda.
- Jafar, S. A., & Kamal, S. K. (2016). Analysis studying for improving cooling tower. *Kirkuk university Journal / Scientific Studies*, 11 (3), 186-202. Retirado de https://www.researchgate.net/publication/331311459_Analysis_Studying_For_Improving_Cooling_Tower.
- Marshall, R., Scales, W., Shafer, G., Shaw, P., Sheaffer, P., Stasyshan, R., & Van Ormer, H., P. (2016). *Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry*. (3rd ed.). Washington: United States. Dept. of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- Martins, A. A., Delaiba, A. C., Bispo, D., Júnior, R. G., & Silva, S. F. P. (2010). *Procedimentos de análise de eficiência energética em sistemas de ar comprimido industriais*. Presented at International Conference on Industry Applications of IEEE. doi: 978-1-4244-8010-4/10/\$26.00
- Mittenzwei, D., Bruckermann, T., Nordine, J., & Harms, U. (2019). The energy concept and its relation to climate literacy. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15 (6), 1-18. doi: 10.29333/ejmste/105637
- Mousavi, S., Kara, S., & Kornfeld, B. (2014). Energy efficiency of compressed air systems. *Elsevier*, 15 (2014), 313-318. doi: 10.1016/j.procir.2014.06.026
- Murgia, S., Valenti, G., Colletta, D., Costanzo, I., & Contaldi, G. (2017). Experimental investigation into an ORC-based low-grade energy recovery system equipped with sliding-vane expander using hot oil from an air compressor as thermal source. *Energy Procedia*, 129 (2017), 339-346. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.204
- Nanduri, M., Nyboer, J., & Jaccard, M. (2002). Aggregating physical intensity indicators: results of applying the composite indicator approach to the Canadian industrial sector. *Energy Policy*, 30 (2002), 151-163. doi: 10.1016/S0301-4215(01)00083-0
- Novais, J. (1995). *Ar comprimido industrial: produção, tratamento e distribuição*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Pöyhönen, S., Ahola, J., Ahonen, T., Hammo, S., & Niemelä, M. (2018). Variable-speed-drive-based estimation of the leakage rate in compressed air systems. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 65 (11), 8906-8914. doi: 10.1109/TIE.2018.2807387

- Process Industry Practices (2013). *PIP REEC001 Compressor Selection Guidelines*. Texas: Autor.
- Radgen, P. (2006). *Efficient Compressed Air systems*. In *EU-Twinning Project SL04/EN*, Ljubljana.
- Regulamento (UE) N.º 517/2014 (2014). Gases fluorados com efeito de estufa e que revoga o Regulamento (CE) n.º 842/2006, de 16 de abril. Parlamento Europeu. *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Rocha, C., R., & Monteiro, M., A., G., (2014). *Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido: Manual Prático*. Itajubá: Porcel Indústria e Eletrobrás.
- Royo, E., C. (1977). *Aire comprimido: Teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A..
- Saidur, R., Rahim, N. A., & Hasanuzzaman, M. (2009). A review on compressed-air energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010), 1135-1153. doi: 10.1016/j.rser.2009.11.013
- Scheihing, P., Charlotte, N. C., & Greenwood, S. C. (2001). Compressed air system optimization saves energy and improves production at synthetic textile plant. *Best Practices: Technical Case Study*, 202, 586-7234.
- Šešlija, D., Ignjatović, I., Dudić, S. (2012). Increasing the Energy Efficiency in Compressed Air Systems. In Eissa, M. (Eds.), *Energy Efficiency – The Innovative Ways for Smart Energy, the Future Towards Modern Utilities* (pp. 152 – 174). doi: 10.5772/47873
- Sustainability Victoria (2009). *Energy Efficiency Best Practice Guide Compressed Air Systems*. Melbourne: Author.
- Tomberlin G., Dean, J., & Deru, M. (2018). Electrochemical Water Treatment for Cooling Towers. *Prepared for the General Services Administration by the National Renewable Energy Laboratory*. Retirado de https://www.researchgate.net/publication/331598822_Electrochemical_Water_Treatment_for_Cooling_Towers (16/04/2019).
- Unger, U., & Radgen, P. (2018). *Energy Efficiency in Compressed Air Systems - A review of energy efficiency potentials, technological development, energy policy actions and future importance*. Presented at 10th International Conference on energy efficiency in motor driven systems Rome, Italy 6-8 September 2017. doi: 10.2760/345473

- Vale, L. (2015). *Legionelose Prevenção em redes de Prediais e Sistemas AVAC: Guia Prático de Projeto, Operação e Manutenção para Minimização do Risco* (Angermann, J. P., & Izard, M., Trad). Lisboa: Ingenium Edições, Lda.
- Wang, S. W. (2001). Refrigerants, Refrigeration Cycles, and Refrigeration Systems. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (pp. 9.1 - 9.60). New York: McGraw Hill.
- Wennemar, J. (2009). *Dry screw compressor performance and application range*. In *Proceedings of the thirty-eight- turnomachinery symposium*, Oberhausen, Germany, (149-156).
- Wünsch, M., et al. (2012). *Detenbasis zur Bewertung von Energieeffizienz-maßnahmen 2012*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

ANEXOS

9.1 ANEXO 1

9.2 ANEXO 2

9.3 ANEXO 3

9.4 ANEXO 4

9.5 ANEXO 5

9.6 ANEXO 6

9.7 ANEXO 7

9.8 ANEXO 8

9.9 ANEXO 9

9.10 ANEXO 10

9.11 ANEXO 11

9.12 ANEXO 12

9.13 ANEXO 13

9.14 ANEXO 14

9.15 ANEXO 15

9 Anexos

9.1 Anexo 1 – Distribuição de horas diárias do estágio

SETEMBRO	
Dia 17	8
Dia 18	4
Dia 19	8
Dia 20	8
Dia 21	8
Dia 24	8
Dia 25	8
Dia 26	8
Dia 27	8
Dia 28	8
Total	76

OUTUBRO	
Dia 1	4
Dia 2	8
Dia 3	8
Dia 4	8
Dia 5	0
Dia 8	8
Dia 9	8
Dia 10	8
Dia 11	8
Dia 12	8
Dia 15	8
Dia 16	8
Dia 17	4
Dia 18	8
Dia 19	8
Dia 22	8
Dia 23	8
Dia 24	0
Dia 25	8
Dia 26	8
Dia 29	8
Dia 30	8
Dia 31	0
Total	152

NOVEMBRO	
Dia 1	0
Dia 2	0
Dia 5	0
Dia 6	0
Dia 7	8
Dia 8	8
Dia 9	8
Dia 12	8
Dia 13	8
Dia 14	8
Dia 15	0
Dia 16	8
Dia 19	8
Dia 20	8
Dia 21	0
Dia 22	8
Dia 23	8
Dia 26	8
Dia 27	8
Dia 28	0
Dia 29	8
Dia 30	8
Total	120

DEZEMBRO	
Dia 3	0
Dia 4	8
Dia 5	0
Dia 6	8
Dia 7	8
Dia 10	8
Dia 11	8
Dia 12	0
Dia 13	8
Dia 14	8
Dia 17	8
Total	64

JANEIRO	
Dia 2	8
Dia 3	8
Dia 4	4
Dia 28	13
Dia 29	10
Dia 30	8
Dia 31	
Total	51

FEVEREIRO		MARÇO		ABRIL		MAIO		JUNHO	
Dia 1	8	Dia 1	8	Dia 1	8	Dia 1	0	Dia 3	8
Dia 4	0	Dia 4	8	Dia 2	8	Dia 2	4	Dia 4	8
Dia 5	8	Dia 5	0	Dia 3	0	Dia 3	8	Dia 5	0
Dia 6	8	Dia 6	8	Dia 4	8	Dia 6	8	Dia 6	8
Dia 7	10	Dia 7	0	Dia 5	8	Dia 7	8	Dia 7	8
Dia 8	8	Dia 8	8	Dia 8	8	Dia 8	8	Total	32
Dia 11	8	Dia 11	8	Dia 9	8	Dia 9	8		
Dia 12	8	Dia 12	8	Dia 10	0	Dia 10	8		
Dia 13	8	Dia 13	0	Dia 11	8	Dia 13	8		
Dia 14	8	Dia 14	8	Dia 12	8	Dia 14	8		
Dia 15	8	Dia 15	8	Dia 15	11	Dia 15	0		
Dia 18	8	Dia 18	8	Dia 16	8	Dia 16	8		
Dia 19	8	Dia 19	8	Dia 17	0	Dia 17	8		
Dia 20	0	Dia 20	0	Dia 18	8	Dia 20	8		
Dia 21	8	Dia 21	8	Dia 19	0	Dia 21	8		
Dia 22	8	Dia 22	8	Dia 22	0	Dia 22	0		
Dia 25	8	Dia 25	8	Dia 23	0	Dia 23	8		
Dia 26	8	Dia 26	8	Dia 24	8	Dia 24	8		
Dia 27	0	Dia 27	0	Dia 25	0	Dia 27	8		
Dia 28	8	Dia 28	8	Dia 26	8	Dia 28	8		
Total	138	Dia 29	8	Dia 29	8	Dia 29	0		
		Total	128	Dia 30	4	Dia 30	8		
				Total	119	Dia 31	8		
						Total	148		

TOTAL	1028
--------------	------

9.2 Anexo 2 – *Datasheet* dos equipamentos de medida

2.8 INSTRUMENTATION

The instrumentation functions in the energy meter, with all measurements enabled, consist of measuring frequency, per phase reading of voltage, current, phase angle and current harmonics, per phase and total reading of active/reactive/apparent power, power factor, power factor angle and active quadrant. It also includes displaying some of these quantities on the LCD and communicating the results over the communication interface(s).

Normally only a subset of the instrumentation quantities are displayed on the LCD and sent out over the communication interface(s).

All measurements are done in parallel and updated approximately once a second except for the current harmonics where the harmonics (numbers 2-9) are measured sequentially one at a time (one harmonic number approximately once a second).

All instrumentation data accuracy are defined within the voltage range $\pm 20\%$ of the stated nominal voltage and within the current range 5 % of the base current to the maximum current. The accuracy of all instrumentation data except the voltage and current phase-angles and current harmonics are the same as the IEC 62053-21 stated energy metering accuracy. The accuracy for the voltage and current phase-angles are ± 2 degrees. The accuracy for the current harmonics varies with the harmonic amplitude and the harmonic number and are valid provided that no harmonics above 500 Hz exists:

Harmonic number	1 % < distortion < 5 %	5 % < distortion < 10 %	10 % < distortion < 20 %	20 % < distortion < 50 %	50 % < distortion < 100 %
2	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 2\%$	$\pm 4\%$	$\pm 2\%$
3	$\pm 0.7\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 3\%$	$\pm 6\%$	$\pm 3\%$
4	$\pm 1.0\%$	$\pm 2.0\%$	$\pm 4\%$	$\pm 8\%$	$\pm 4\%$
5	$\pm 1.2\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$
6	$\pm 1.5\%$	$\pm 3.0\%$	$\pm 6\%$	$\pm 12\%$	$\pm 6\%$
7	$\pm 1.7\%$	$\pm 3.5\%$	$\pm 7\%$	$\pm 14\%$	$\pm 7\%$
8	$\pm 2.0\%$	$\pm 4.0\%$	$\pm 8\%$	$\pm 16\%$	$\pm 8\%$
9	$\pm 2.5\%$	$\pm 5.0\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 10\%$

For distortion levels below 1 % there's an absolute uncertainty of $\pm 0.5\%$.

The accuracy of the total harmonic distortion will vary as it is dependant on all harmonics present which in turn have different accuracy and also amplitude dependant accuracy.

For information regarding presentation of the instrumentation values on the LCD see section 2.7.3. For information regarding communication formats of the instrumentation values on the LCD see chapter 6.

As mentioned above the current harmonics (2-9) together with the fundamental is measured sequentially one at a time (approximately 1 harmonic each second). Each harmonic is calculated according to:

$$I_n / I_f \quad 100\%$$

and the total current harmonic distortion for the harmonics measured is calculated according to:

$$\sqrt{\sum_{n=2}^9 I_n^2} / I_f \quad 100\%$$

where I_f is the fundamental current and I_n is the current for harmonic with number n.

ANZEIGE

Display: LCD-Display mit Hintergrundbeleuchtung

Beleuchtung schaltet sich nach 20 Sekunden ohne Betätigung automatisch ab

Anzeige: 4-stellig (Ziffernhöhe 12 mm)

Energiezähler: 8-stellig (Ziffernhöhe 8 mm)

Messgrößeneinheit: automatisch, abhängig von der Einstellung der Wandlerübersetzung

Auflösung: automatisch, mit max. möglichen Dezimalstellen

Dezimalpunkt: automatisch, mit max. möglicher Auflösung

Messzykluszeit: 1,1 Sekunden

Genauigkeit (vom Messwert)

- Spannung: $\pm 0,2\%$ (80...690V Phase - Phase)

- Strom: $\pm 0,2\%$ (10...120% In)

- Leistung: $\pm 0,5\%$ (10...120% Pn/Qn/Sn, $\cos\varphi$ 0,5 ind...0,5 cap.)

- Frequenz: $\pm 0,15$ Hz





Energiezähler (Referenzwert 230(400)V 5A 50Hz)

- Wirkenergie: Klasse 0,5s (EN62053-22)

- Blindenergie: Klasse 2 (EN62053-23)

ANZEIGESEITEN

Die Anzeige der Messwerte ist auf vier Hauptgruppen unterteilt. Durch Drücken der entsprechenden Funktionstaste wird die Anzeigegruppe ausgewählt:

U 	I 	PQS 	ET 
SPANNUNG Phasenspannung und verkettete Spannung VOLTAGE <i>phase and linked</i>	STROM Phasenstrom und Neutralleiterstrom CURRENT <i>phase and neutral</i>	LEISTUNG (GESAMT) Wirk-, Blind-, Scheinleistung THREE-PHASE POWER <i>active, reactive, apparent</i>	LEISTUNGSFAKTOR Gesamt und je Phase POWER FACTOR <i>phase and three-phase</i>
SPANNUNG (MINIMUM) je Phase MINIMUM VOLTAGE <i>phase</i>	STROMMITTELWERT je Phase CURRENT DEMAND <i>phase</i>	LEISTUNG (JE PHASE) Wirk-, Blind-, Scheinleistung PHASE POWER <i>active, reactive, apparent</i>	FREQUENZ FREQUENCY
SPANNUNG (MAXIMUM) je Phase MAXIMUM VOLTAGE <i>phase</i>	MAX. STROMMITTELWERT je Phase MAX. CURRENT DEMAND <i>phase</i>	LEISTUNGSMITTELWERT Wirk-, Blind-, Scheinleistung POWER DEMAND <i>active, reactive, apparent</i>	BETRIEBSSTUNDEN RUN HOUR
OBERWELLENGEHALT SPANNUNG je Phase VOLTAGE HARMONIC DISTORTION <i>phase</i>	SUMMENSTROM AVERAGE CURRENT $\frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	MAX. LEISTUNGSMITTELWERT Wirk-, Blind-, Scheinleistung MAX. POWER DEMAND <i>active, reactive, apparent</i>	WIRKENERGIE (POSITIV) Gesamt- und Teilzähler POSITIVE ACTIVE ENERGY <i>partial and total</i>
	OBERWELLENGEHALT STROM je Phase CURRENT HARMONIC DISTORTION <i>phase</i>		BLINDENERGIE (POSITIV) Gesamt- und Teilzähler POSITIVE REACTIVE ENERGY <i>partial and total</i>
			WIRKENERGIE (NEGATIV) NEGATIVE ACTIVE ENERGY
			BLINDENERGIE (NEGATIV) NEGATIVE REACTIVE ENERGY

Auf allen Anzeigeseiten wird immer die Gesamtwirkenergie oder Gesamtblindenergie (abwechselnd) angezeigt.

PROGRAMMIERUNG

Programmierung: über die vier Fronttasten

Programmierzugang: geschützt über Passwort

Speicherung der Daten und Konfigurationsparameter: in einem nicht flüchtigen Speicher (ohne Batterie)

DISPLAY

Type of display: LCD backlit

Automatic backlit reduction off after 20 s that keyboard is not used

N° of reading points: 10 000 4 digits (high digit 12 mm)

Energy count: 8 digit counter (high digit 8 mm)

Engineering units: automatic display according to the set VT and CT ratios

Resolution: automatic, with the highest possible number of decimals

Decimal point: automatic, with the highest possible resolution

Reading update: 1,1 seconds

Accuracy (of the reading)

- Voltage: $\pm 0,2\%$ (80...690V phase - phase)

- Current: $\pm 0,2\%$ (10...120% In)

- Powers: $\pm 0,5\%$ (10...120% Pn/Qn/Sn $\cos\varphi$ 0,5 ind...0,5 cap.)

- Frequency: $\pm 0,15$ Hz

Energy count reference value (400)V 5A 50Hz

- Active energy: class 0,5s (EN62053-22)

- Reactive energy: class 2 (EN62053-23)

DISPLAY PAGES

Display is divided into four menus which can be reached with the relevant function keys:

The total active or reactive energy (alternatively) is always displayed on all the display pages.

PROGRAMMING

Parameters programming: front keyboard, 4 keys

Programming access: protected by password

Data and configuration parameters retention: non volatile memory (no battery)

Reinforced connecting cables

Reinforced connecting cables with an additional, reinforcing metal braid should be used for:

- When laying the cable directly in the ground
- Where there is a risk of damage from rodents

i Reinforced connecting cables with an additional, reinforcing metal braid can be ordered from Endress+Hauser .

Operation in zones of severe electrical interference

The measuring system meets the general safety requirements → 80 and EMC specifications → 38.

Grounding is by means of the ground terminal provided for the purpose inside the connection housing. The stripped and twisted lengths of cable shield to the ground terminal must be as short as possible.

Performance characteristics

Reference operating conditions

In accordance with DIN EN 29104

- Medium temperature: $+28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($+82 \pm 4 \text{ }^\circ\text{F}$)
- Ambient temperature: $+22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($+72 \pm 4 \text{ }^\circ\text{F}$)
- Warm-up period: 30 min

Installation

- Inlet run $> 10 \times \text{DN}$
- Outlet run $> 5 \times \text{DN}$
- Sensor and transmitter grounded.
- The sensor is centered in the pipe.

i To calculate the measuring range, use the *Applicator* sizing tool → 83

Maximum measured error

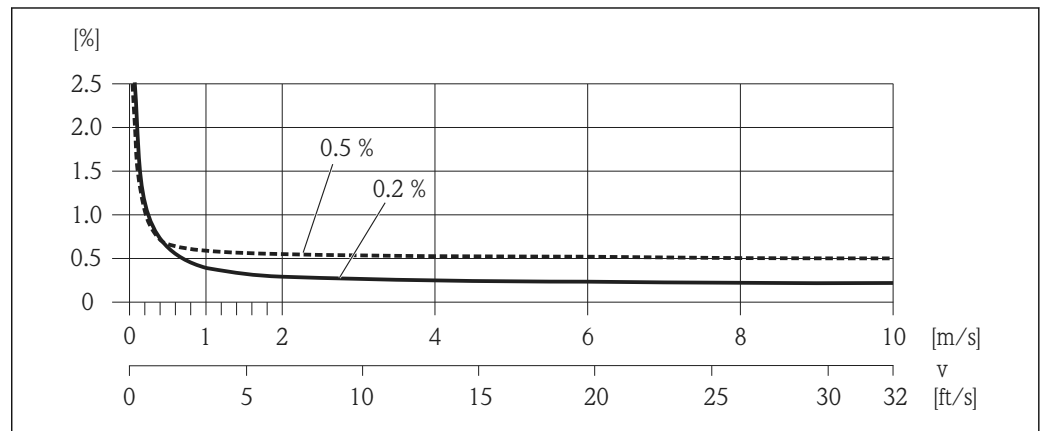
Error limits under reference operating conditions

o.r. = of reading

Volume flow

- $\pm 0.5 \text{ } \%$ o.r. $\pm 1 \text{ mm/s}$ (0.04 in/s)
- Optional: $\pm 0.2 \text{ } \%$ o.r. $\pm 2 \text{ mm/s}$ (0.08 in/s)

i Fluctuations in the supply voltage do not have any effect within the specified range.



17 Maximum measured error in % o.r.

Electrical conductivity

Max. measured error not specified.

9.3 Anexo 3 – Consumos diários mensais de ar comprimido de baixa pressão (Central de produção 1)

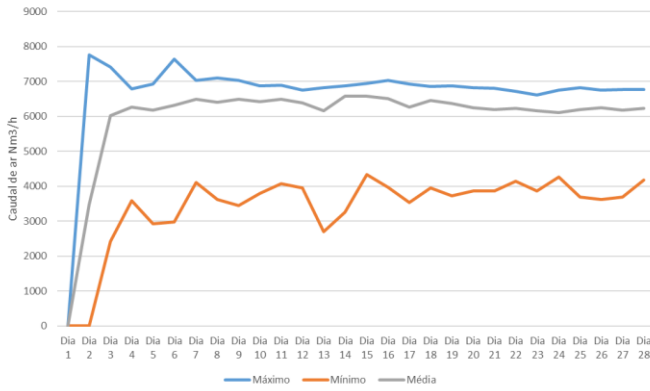
FEVEREIRO			MARÇO			ABRIL					
Consumo de ar			Consumo de ar			Consumo de ar					
Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		
Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média			
Dia 1	0.00	0.00	0.00	Dia 1	6742.10	4002.83	6228.91	Dia 1	6749.80	2346.53	5934.02
Dia 2	7767.73	0.00	3478.44	Dia 2	6724.67	4138.00	6289.49	Dia 2	6818.40	4136.80	6403.43
Dia 3	7407.97	2427.00	6023.32	Dia 3	6696.80	4146.93	6275.61	Dia 3	6747.53	4069.77	6217.27
Dia 4	6787.13	3596.03	6258.34	Dia 4	6769.77	3952.50	6250.92	Dia 4	6740.17	4329.20	6255.29
Dia 5	6929.47	2935.23	6174.34	Dia 5	6713.50	3177.77	6327.00	Dia 5	6633.33	3778.50	6178.27
Dia 6	7637.70	2985.57	6319.19	Dia 6	6745.83	3360.60	6207.23	Dia 6	6614.43	4580.10	6285.29
Dia 7	7034.43	4114.80	6497.24	Dia 7	6816.33	4023.47	6269.12	Dia 7	6594.37	4413.97	6204.88
Dia 8	7096.13	3622.60	6408.08	Dia 8	8671.50	4322.87	6276.56	Dia 8	6572.90	4133.93	6206.47
Dia 9	7026.97	3444.68	6498.12	Dia 9	6809.83	4398.57	6272.65	Dia 9	6568.33	4005.97	6201.07
Dia 10	6879.43	3803.00	6428.35	Dia 10	6708.57	4081.30	6284.34	Dia 10	6589.50	3393.31	6174.89
Dia 11	6886.40	4076.07	6489.50	Dia 11	6674.40	4104.03	6169.04	Dia 11	6597.80	4189.17	6232.80
Dia 12	6761.53	3950.67	6388.22	Dia 12	6786.70	4317.53	6279.45	Dia 12	6629.30	4141.57	6188.57
Dia 13	6829.67	2703.27	6165.22	Dia 13	6774.07	4075.90	6128.79	Dia 13	6559.33	4093.03	6204.02
Dia 14	6876.07	3250.93	6573.63	Dia 14	6772.07	3956.40	6134.54	Dia 14	6577.27	0.00	3746.43
Dia 15	6948.23	4327.80	6587.61	Dia 15	6678.50	4121.43	6172.51	Dia 15	6214.47	0.00	2649.98
Dia 16	7035.57	3966.60	6518.07	Dia 16	6663.23	4034.37	6154.86	Dia 16	0.00	0.00	0.00
Dia 17	6927.83	3537.07	6259.94	Dia 17	6687.73	3801.00	6071.08	Dia 17	7578.47	0.00	3697.83
Dia 18	6856.13	3956.87	6451.35	Dia 18	6740.93	4105.93	6159.59	Dia 18	6601.47	109.13	5489.40
Dia 19	6873.37	3719.60	6366.21	Dia 19	6657.30	4389.10	6362.31	Dia 19	6549.73	3709.63	6215.52
Dia 20	6831.00	3868.57	6248.65	Dia 20	6637.92	4003.20	6180.15	Dia 20	6517.23	4494.80	6242.56
Dia 21	6809.10	3871.47	6190.91	Dia 21	6634.07	4452.67	6269.40	Dia 21	6600.03	4207.40	6198.42
Dia 22	6712.37	4151.13	6238.48	Dia 22	6623.60	4334.97	6273.02	Dia 22	6645.50	3985.64	6327.00
Dia 23	6608.37	3859.87	6158.60	Dia 23	6707.70	4558.10	6304.58	Dia 23	8398.77	3934.73	6675.41
Dia 24	6756.30	4259.87	6114.89	Dia 24	6727.93	3946.00	6148.52	Dia 24	7866.87	4732.63	6865.56
Dia 25	6817.40	3688.77	6194.06	Dia 25	6673.60	4220.63	6295.01	Dia 25	7884.82	4208.93	6897.19
Dia 26	6760.13	3619.27	6252.42	Dia 26	6634.83	4364.43	6170.52	Dia 26	7805.30	3797.77	6709.99
Dia 27	6775.37	3696.27	6173.57	Dia 27	6634.17	3542.87	6257.72	Dia 27	8046.23	3957.63	6859.31
Dia 28	6771.6	4183.17	6233.24	Dia 28	6688.13	3899.60	6335.01	Dia 28	7673.77	4421.20	6764.26
				Dia 29	6662.40	3939.47	6258.08	Dia 29	8312.40	4490.37	6949.39
				Dia 30	6619.57	3929.00	6244.23	Dia 30	8178.63	4149.77	7227.68
				Dia 31	6625.87	4581.2	6169.303				

MAIO			JUNHO				
Consumo de ar			Consumo de ar				
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	
Dia 1	8198.43	144.20	4934.82	Dia 1	8197.63	4882.27	7198.64
Dia 2	8799	783.13	6607.33	Dia 2	8025.97	5027.1	7009.05
Dia 3	10209.63	4349.73	7076.78	Dia 3	8026.97	4608.20	7096.47
Dia 4	8071.63	4578.40	7192.98	Dia 4	8268.43	4945.07	7126.99
Dia 5	8089.70	4459.57	7136.96	Dia 5	8435.93	4232.83	7145.00
Dia 6	8386.07	4293.53	7141.54	Dia 6	8496.37	4864.83	7393.11
Dia 7	8296.83	3917.17	7261.94	Dia 7	8175.37	4740.97	7194.90
Dia 8	10501.30	4149.80	7445.55	Dia 8	8200.33	4538.37	7187.15
Dia 9	8590.90	4646.87	7559.20	Dia 9	8265.23	4654.70	7333.88
Dia 10	8535.80	5156.67	7652.73	Dia 10	7934.23	289.30	7016.23
Dia 11	8754.73	5190.27	7759.71	Dia 11	8309.47	486.90	6606.37
Dia 12	8867.57	3885.30	7564.29	Dia 12	7871.37	4359.13	6696.62
Dia 13	8776.23	4587.63	7611.17	Dia 13	7624.33	4593.23	6665.22
Dia 14	8790.57	3789.03	7895.23	Dia 14	7798.20	4135.33	6694.63
Dia 15	8567.63	4812.23	7690.18	Dia 15	7956.97	4601.67	6908.23
Dia 16	8561.97	5153.63	7683.83	Dia 16	7663.27	4310.13	6723.99
Dia 17	8635.77	5026.90	7666.60	Dia 17	7512.23	4056.37	6628.97
Dia 18	8593.37	5331.13	7551.71	Dia 18	7547.93	4119.57	6597.41
Dia 19	8511.20	4940.90	7587.17	Dia 19	7699.19	4032.73	6454.72
Dia 20	9095.27	5425.80	8206.44	Dia 20	7568.13	3953.73	6464.04
Dia 21	9141.97	5768.61	8540.68	Dia 21	7710.90	4166.97	6607.29
Dia 22	9115.27	5207.07	8296.22	Dia 22	7573.00	6010.92	7251.57
Dia 23	9210.70	5973.10	8466.56	Dia 23	7384.87	4194.30	6331.49
Dia 24	9036.90	6626.22	8579.33	Dia 24	8712.87	164.08	4366.16
Dia 25	9160.29	6472.57	8614.02	Dia 25	7934.52	191.00	5674.35
Dia 26	9093.80	5539.23	7940.65	Dia 26	7861.90	3926.77	6649.37
Dia 27	8879.92	3444.91	7256.98	Dia 27	8009.60	4410.10	6827.77
Dia 28	8668.78	5032.33	7540.30	Dia 28	15878.17	4205.63	9405.11
Dia 29	8851.90	4527.30	7752.56	Dia 29	7516.17	3827.40	6513.34
Dia 30	8726.97	5077.00	7889.42	Dia 30	7447.27	4026.40	6451.74
Dia 31	9276.4	5639.47	8181.30				

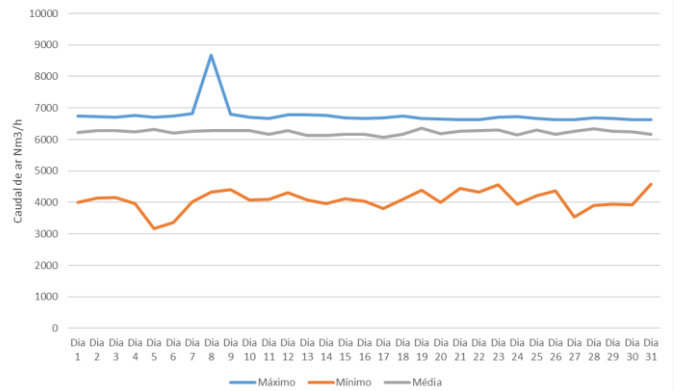
<i>JULHO</i>			<i>AGOSTO</i>			<i>SETEMBRO</i>					
Consumo de ar			Consumo de ar			Consumo de ar					
Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h			
Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média			
Dia 1	7200.2	3428.90	6329.40	Dia 1	7016.13	3524.53	6066.18	Dia 1	6765.33	3604.83	5945.38
Dia 2	7159.47	3910.17	6437.37	Dia 2	7228.47	3545.97	6167.66	Dia 2	6770.8	3296.57	5945.70
Dia 3	7383.07	3708.53	6145.22	Dia 3	7275.73	3611.60	6155.32	Dia 3	7187.20	2931.07	6030.85
Dia 4	6967.70	3788.93	5999.10	Dia 4	6967.10	3683.27	6142.03	Dia 4	7104.10	3463.63	6065.87
Dia 5	7258.90	3661.93	6103.39	Dia 5	7559.13	3544.33	6229.99	Dia 5	6815.13	3542.77	5816.61
Dia 6	13980.33	3909.57	6664.67	Dia 6	6905.40	3813.80	6208.06	Dia 6	6781.17	3328.13	5799.23
Dia 7	7376.90	3828.17	6216.06	Dia 7	7002.20	3579.13	6070.74	Dia 7	6832.40	3616.43	5815.69
Dia 8	7769.87	3744.27	6339.22	Dia 8	7611.73	4237.33	6307.47	Dia 8	6616.43	3350.73	5660.04
Dia 9	7420.43	3756.23	6358.88	Dia 9	7231.03	3610.40	6247.82	Dia 9	6891.90	3249.33	5871.54
Dia 10	7383.30	3742.77	6200.27	Dia 10	7306.17	3774.37	6192.44	Dia 10	6976.33	3398.30	5998.95
Dia 11	7341.87	3983.80	6311.63	Dia 11	7179.80	3259.63	6199.19	Dia 11	7240.00	3325.70	5998.63
Dia 12	7385.90	4137.73	6204.28	Dia 12	7242.00	3023.63	6261.09	Dia 12	6843.00	3525.40	5850.22
Dia 13	7234.19	3384.80	6033.44	Dia 13	6895.23	170.27	4187.18	Dia 13	7319.10	3514.40	6144.64
Dia 14	7008.90	3237.53	5884.73	Dia 14	6996.63	0.00	1992.79	Dia 14	7504.42	3706.53	6155.97
Dia 15	7415.6	3234.97	6085.656	Dia 15	0.00	0.00	0.00	Dia 15	7533.72	3518.50	6115.75
Dia 16	7273.63	2998.93	6223.29	Dia 16	0.00	0.00	0.00	Dia 16	7891.57	3215.93	6307.94
Dia 17	7595.10	3141.03	6110.74	Dia 17	0.00	0.00	0.00	Dia 17	7194.73	3489.30	6370.43
Dia 18	6887.32	3835.93	5840.88	Dia 18	0.00	0.00	0.00	Dia 18	7428.57	3824.37	6395.73
Dia 19	6772.97	3176.87	5844.493	Dia 19	0.00	0.00	0.00	Dia 19	7553.97	3371.13	6373.14
Dia 20	7185.47	3523.63	6117.91	Dia 20	0.00	0.00	0.00	Dia 20	7292.73	3537.63	6305.28
Dia 21	6893.67	3691.97	6050.66	Dia 21	5909.03	0.00	1632.79	Dia 21	7561.77	3699.27	6416.74
Dia 22	7328.23	3258.97	6259.57	Dia 22	7424.60	3358.47	5630.43	Dia 22	7568.40	3807.77	6471.80
Dia 23	7256.53	2919.53	6193.47	Dia 23	7056.93	3647.23	5889.54	Dia 23	13965.83	3456.50	7699.05
Dia 24	6876.50	2825.83	6019.83	Dia 24	6927.17	3829.70	5864.66	Dia 24	7214.80	3260.23	6378.35
Dia 25	6917.97	3753.17	6041.01	Dia 25	6981.90	3663.90	5917.61	Dia 25	7186.00	3733.33	6278.87
Dia 26	7021.77	3483.23	5988.74	Dia 26	7022.33	3522.30	6046.74	Dia 26	7155.30	3494.63	6257.56
Dia 27	6905.80	3335.90	5946.70	Dia 27	7436.13	4146.73	6268.74	Dia 27	7182.27	3434.60	6142.44
Dia 28	7061.07	3271.80	5856.77	Dia 28	12593.73	3717.27	6166.44	Dia 28	6935.60	3438.82	5988.52
Dia 29	7062.10	3484.43	6104.77	Dia 29	7056.40	3750.80	6163.78	Dia 29	7391.40	3606.43	6237.80
Dia 30	7208.23	3614.77	6186.80	Dia 30	7003.70	3701.87	6053.77	Dia 30	7202.53	3681.80	6273.97
Dia 31	7194.00	3239.27	5997.12	Dia 31	7027.47	3536.17	5926.71				

OUTUBRO				NOVEMBRO			DEZEMBRO				
Consumo de ar				Consumo de ar			Consumo de ar				
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	7363.73	3808.03	6451.07	Dia 1	6600.07	308.87	2783.54	Dia 1	5177.10	558.43	2563.22
Dia 2	6749.3	3458.43	5861.00	Dia 2	8970.80	947.73	5139.89	Dia 2	6857.47	125.73	3985.53
Dia 3	6541.67	3411.33	6003.26	Dia 3	13742.73	2332.73	5923.12	Dia 3	4359.63	1318.40	3602.04
Dia 4	6515.50	3260.03	5854.28	Dia 4	6695.17	2975.07	5647.83	Dia 4	4031.30	602.07	3104.43
Dia 5	6488.23	0.00	3409.42	Dia 5	6470.63	2686.13	5554.66	Dia 5	4295.60	501.27	3359.14
Dia 6	6596.87	0.00	4105.36	Dia 6	6338.33	2788.60	5281.75	Dia 6	4124.27	1664.00	3280.40
Dia 7	6441.87	123.27	4952.67	Dia 7	6361.03	2663.17	5423.89	Dia 7	4027.37	1327.60	3115.49
Dia 8	6553.73	3058.67	5826.92	Dia 8	6310.40	2675.80	5199.83	Dia 8	5967.10	181.57	2250.68
Dia 9	6583.17	2855.73	5745.16	Dia 9	6111.37	2909.13	5149.04	Dia 9	7373.30	1262.63	3804.79
Dia 10	6665.57	3345.73	5886.28	Dia 10	6310.63	2569.77	5136.07	Dia 10	4130.37	1531.50	3452.40
Dia 11	6976.53	3427.83	6102.60	Dia 11	6564.23	2976.93	5426.12	Dia 11	4058.33	1601.77	3203.96
Dia 12	7158.60	3574.52	6170.34	Dia 12	6457.33	2736.37	5523.22	Dia 12	3676.53	1018.83	2948.02
Dia 13	7189.53	3691.20	6099.43	Dia 13	6326.30	2511.03	5234.14	Dia 13	4247.41	1470.00	3123.54
Dia 14	7359.60	3510.83	6303.49	Dia 14	6131.27	2622.60	4916.89	Dia 14	4114.00	1465.53	3350.76
Dia 15	11404.03	3462.43	6152.24	Dia 15	6139.00	2688.67	4931.76	Dia 15	4166.20	1302.80	3320.50
Dia 16	6860.73	3366.87	6043.94	Dia 16	6091.37	2829.63	4991.45	Dia 16	3902.27	1133.93	3087.83
Dia 17	6477.67	3468.50	5834.05	Dia 17	6175.84	2694.77	4909.12	Dia 17	3954.33	1566.97	3314.43
Dia 18	6483.75	3124.90	5667.80	Dia 18	6350.23	2031.97	5058.98	Dia 18	4242.23	993.93	3112.42
Dia 19	6444.77	3417.03	5835.40	Dia 19	5978.07	2453.17	5008.71	Dia 19	3874.77	1052.03	3082.63
Dia 20	6414.47	3346.77	5695.71	Dia 20	5687.57	2367.40	4692.67	Dia 20	7168.50	141.73	3315.89
Dia 21	6663.43	3083.64	5873.11	Dia 21	5948.57	2312.37	4820.50	Dia 21	5923.20	0.00	3792.50
Dia 22	6703.90	3154.10	6034.47	Dia 22	6044.87	2366.17	4960.25	Dia 22	0.00	0.00	0.00
Dia 23	6636.57	3160.13	5599.97	Dia 23	6224.33	2438.30	4817.53	Dia 23	0.00	0.00	0.00
Dia 24	6282.20	2774.67	5353.36	Dia 24	5754.03	2116.53	4523.92	Dia 24	0.00	0.00	0.00
Dia 25	6800.63	2994.93	5590.00	Dia 25	5898.07	1566.67	4438.83	Dia 25	0.00	0.00	0.00
Dia 26	6946.53	3032.87	5779.18	Dia 26	5823.83	2352.87	4707.79	Dia 26	4406.40	0.00	270.10
Dia 27	6457.50	3348.73	5628.65	Dia 27	5617.97	2151.33	4554.55	Dia 27	4631.50	0.00	1853.91
Dia 28	6992.60	2610.93	5655.91	Dia 28	5836.50	2498.07	4697.11	Dia 28	5501.00	0.00	2014.53
Dia 29	7081.40	2714.57	5684.60	Dia 29	5786.77	2404.43	4604.81	Dia 29	6257.00	0.00	2321.89
Dia 30	6515.63	2920.87	5524.67	Dia 30	5329.53	3538.50	4542.18	Dia 30	6306.60	0.00	2621.45
Dia 31	6535.9	2851.33	5614.52					Dia 31	0.00	0.00	0.00

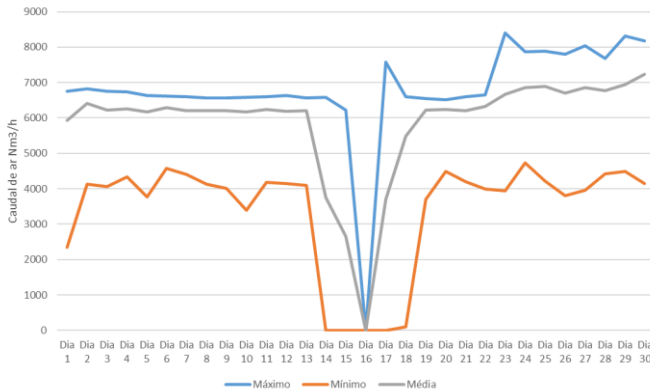
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) fevereiro 2017



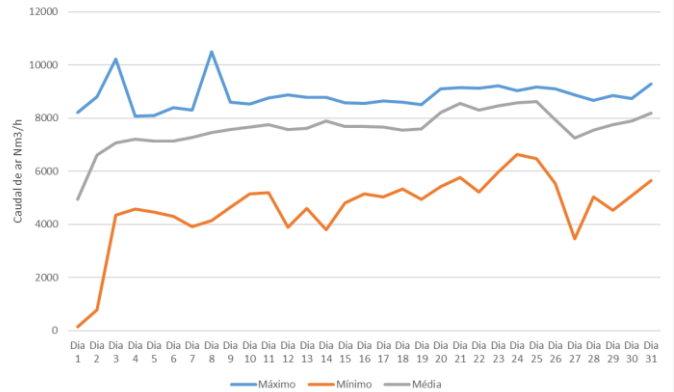
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) março 2017



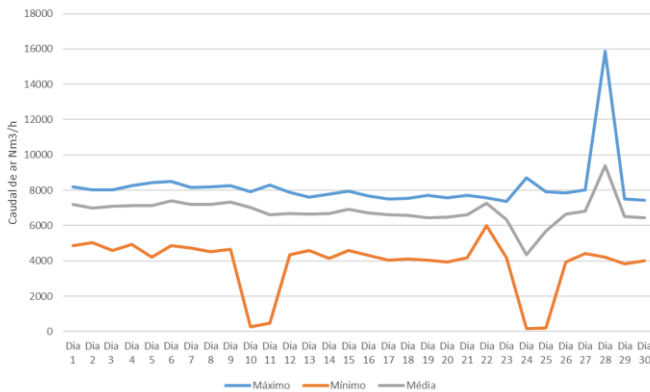
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) abril 2017



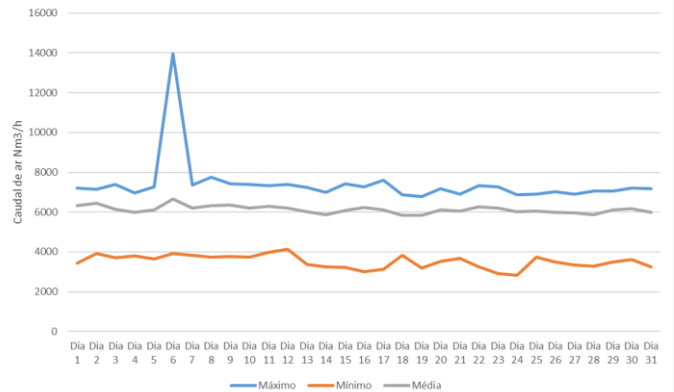
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) maio 2017



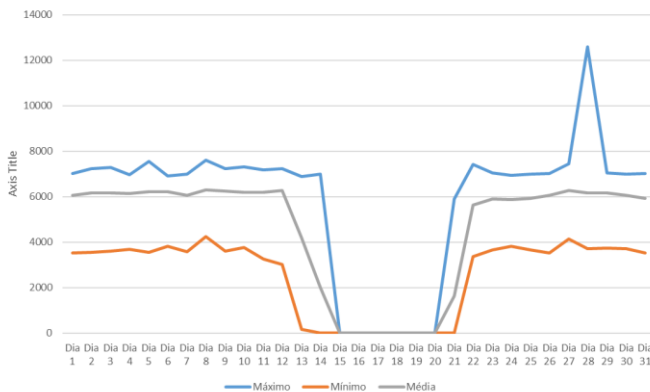
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) junho 2017



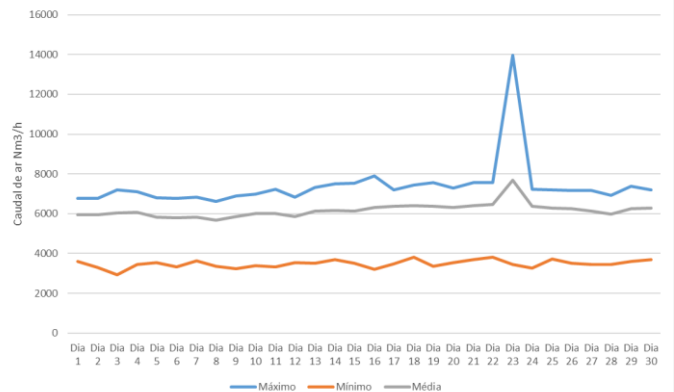
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) julho 2017



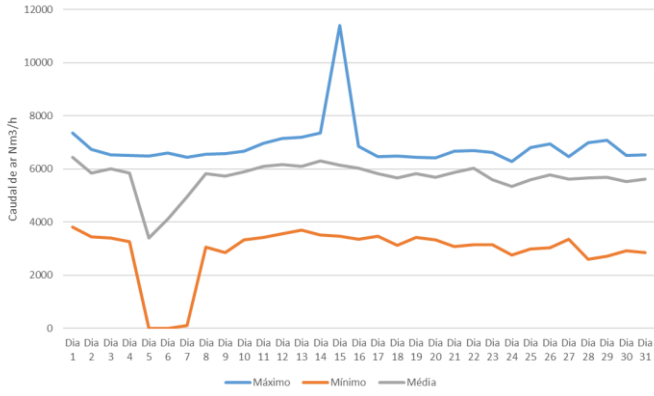
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) agosto 2017



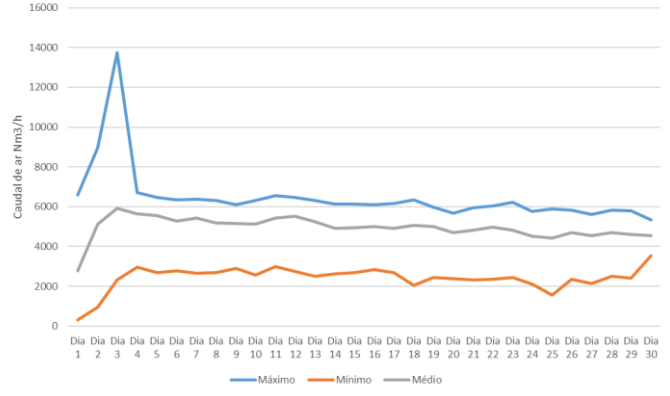
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) setembro 2017



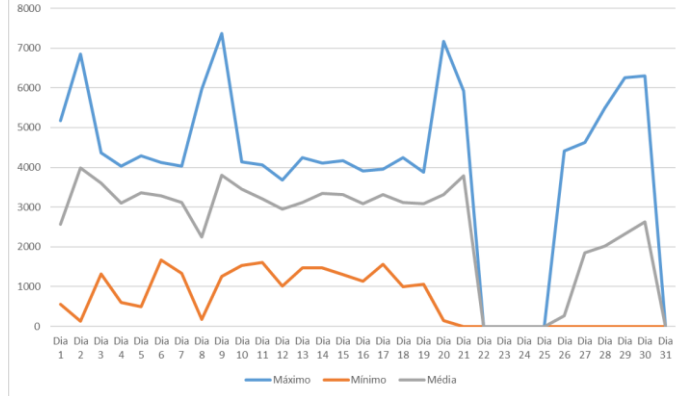
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) outubro 2017



Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) novembro 2017



Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 1) dezembro 2017



9.4 Anexo 4 - Consumos diários mensais de ar comprimido de baixa pressão (Central de produção 2)

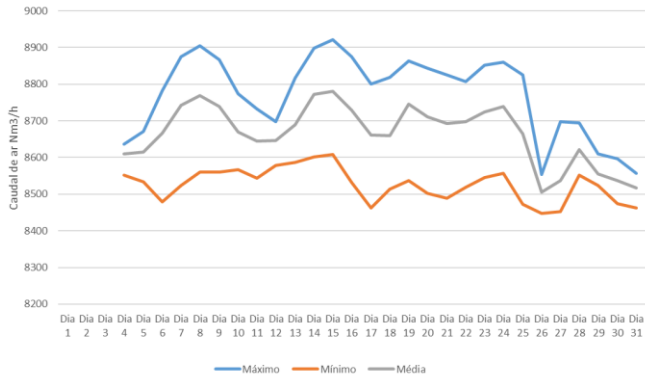
JANEIRO				FEVEREIRO			MARÇO				
Consumo de ar			Consumo de ar			Consumo de ar					
Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		
Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Média		
Dia 1			Dia 1	8591.12	8478.78	8530.44	Dia 1	8652.91	8545.60	8591.65	
Dia 2			Dia 2	8559.13	8456.19	8503.53	Dia 2	8602.96	8478.61	8542.71	
Dia 3			Dia 3	8538.73	8511.72	8523.07	Dia 3	8619.81	8471.85	8526.16	
Dia 4	8636.97	8551.39	8609.28	Dia 4	8523.10	8523.10	8523.10	Dia 4	8614.10	8461.73	8550.80
Dia 5	8671.77	8533.89	8615.61	Dia 5	8523.10	8523.10	8523.10	Dia 5	8605.98	8543.27	8568.40
Dia 6	8782.15	8478.82	8666.46	Dia 6	8638.70	8309.26	8565.63	Dia 6	8664.56	8551.34	8600.15
Dia 7	8874.16	8524.17	8741.87	Dia 7	8764.70	8545.37	8627.17	Dia 7	8704.26	8613.71	8665.30
Dia 8	8905.52	8560.86	8769.30	Dia 8	8839.00	8591.39	8729.86	Dia 8	8700.98	7881.69	8623.47
Dia 9	8866.37	8560.80	8738.88	Dia 9	8749.29	8388.10	8593.56	Dia 9	8694.31	8291.07	8521.79
Dia 10	8774.06	8567.21	8668.91	Dia 10	8603.51	8481.22	8559.24	Dia 10	8597.23	8290.25	8484.85
Dia 11	8733.21	8543.10	8644.16	Dia 11	8611.44	8410.66	8512.20	Dia 11	8643.54	8479.95	8539.05
Dia 12	8698.39	8578.61	8646.16	Dia 12	8478.09	8372.31	8429.56	Dia 12	8665.90	8507.31	8595.56
Dia 13	8817.22	8585.88	8690.17	Dia 13	8568.66	8419.87	8488.89	Dia 13	8700.44	8455.81	8587.36
Dia 14	8897.63	8602.11	8772.88	Dia 14	8643.31	8532.39	8583.19	Dia 14	8714.85	8380.19	8546.98
Dia 15	8921.94	8608.31	8780.10	Dia 15	8729.66	8523.48	8628.99	Dia 15	8641.79	8275.82	8480.39
Dia 16	8874.22	8531.59	8729.74	Dia 16	8780.34	8483.77	8666.14	Dia 16	8613.48	8350.81	8487.48
Dia 17	8801.19	8463.21	8661.21	Dia 17	8772.56	8514.41	8664.00	Dia 17	8629.34	8282.27	8491.87
Dia 18	8818.10	8514.16	8659.39	Dia 18	8709.84	8557.81	8640.97	Dia 18	8674.11	8402.55	8543.74
Dia 19	8862.91	8536.43	8746.02	Dia 19	8753.76	8489.07	8649.71	Dia 19	8642.44	8468.21	8560.52
Dia 20	8843.17	8501.36	8710.21	Dia 20	8767.79	8431.77	8640.86	Dia 20	8599.41	8504.08	8548.45
Dia 21	8825.73	8489.35	8693.16	Dia 21	8754.11	8424.38	8605.75	Dia 21	8615.64	8489.86	8560.22
Dia 22	8807.81	8518.97	8697.03	Dia 22	8688.74	8405.81	8575.58	Dia 22	8645.57	8513.81	8579.54
Dia 23	8852.52	8546.03	8724.00	Dia 23	8654.29	8455.94	8566.41	Dia 23	8708.57	8501.71	8618.32
Dia 24	8860.50	8557.00	8739.71	Dia 24	8657.85	8435.63	8566.32	Dia 24	8717.38	8513.54	8623.25
Dia 25	8825.86	8471.79	8664.21	Dia 25	8704.60	8469.66	8594.29	Dia 25	8646.80	8439.51	8555.44
Dia 26	8553.38	8447.01	8505.77	Dia 26	8631.96	8545.56	8593.66	Dia 26	8584.16	8453.37	8520.82
Dia 27	8697.77	8451.87	8536.68	Dia 27	8603.14	8541.24	8573.13	Dia 27	8590.11	8505.19	8538.14
Dia 28	8694.53	8552.66	8621.84	Dia 28	8660.11	8546.49	8581.79	Dia 28	8629.45	8479.57	8562.46
Dia 29	8610.47	8524.07	8555.44					Dia 29	8645.19	8456.36	8569.96
Dia 30	8596.80	8474.55	8536.70					Dia 30	8635.79	8432.49	8552.66
Dia 31	8557.65	8462.90	8516.96					Dia 31	8654.25	8531.99	8595.259

ABRIL				MAIO			JUNHO				
Consumo de ar			Consumo de ar			Consumo de ar					
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	8712.54	8534.66	8625.79	Dia 1	8908.86	8507.89	8806.87	Dia 1	8568.31	8406.57	8505.40
Dia 2	8760.77	8459.24	8627.67	Dia 2	8890.17	7879.32	8688.60	Dia 2	8572.09	8388.91	8500.12
Dia 3	8696.82	8454.17	8593.75	Dia 3	8776.97	5703.22	8352.18	Dia 3	8553.25	8406.05	8491.73
Dia 4	8718.15	8393.38	8565.70	Dia 4	8634.49	8345.65	8517.75	Dia 4	8565.44	8411.81	8495.56
Dia 5	8619.57	8357.44	8494.05	Dia 5	8680.96	8534.97	8602.93	Dia 5	8606.62	8442.37	8532.33
Dia 6	8588.94	8344.88	8487.47	Dia 6	8730.46	8576.17	8661.17	Dia 6	8534.00	8405.38	8483.07
Dia 7	8639.12	8301.45	8485.63	Dia 7	8778.91	8415.64	8620.21	Dia 7	8589.37	8284.80	8448.14
Dia 8	8627.25	8360.69	8496.07	Dia 8	8716.07	5136.68	8374.67	Dia 8	8527.15	8381.29	8451.48
Dia 9	8613.60	8273.89	8482.35	Dia 9	8624.05	7736.40	8548.63	Dia 9	8508.85	8352.95	8443.61
Dia 10	8592.40	8283.96	8466.81	Dia 10	8599.89	0.00	7807.62	Dia 10	8544.27	0.00	3228.64
Dia 11	8610.14	8329.83	8478.81	Dia 11	8579.72	8475.15	8533.25	Dia 11	8558.55	16.89	6476.43
Dia 12	8628.15	8282.68	8467.75	Dia 12	8675.59	8529.53	8593.24	Dia 12	8511.19	8158.44	8361.79
Dia 13	8599.70	8460.56	8529.83	Dia 13	8739.50	8562.15	8682.90	Dia 13	8453.99	8125.61	8328.62
Dia 14	8563.24	8079.50	8247.28	Dia 14	8759.70	8519.95	8698.86	Dia 14	8460.75	8207.36	8364.15
Dia 15	8079.50	8079.50	8079.50	Dia 15	8751.14	8221.15	8638.77	Dia 15	8485.79	8177.44	8370.09
Dia 16	8079.50	8079.50	8079.50	Dia 16	8731.59	8090.91	8580.18	Dia 16	8457.38	8097.95	8297.29
Dia 17	8079.50	8079.50	8079.50	Dia 17	8685.57	8390.87	8600.59	Dia 17	8383.94	8004.68	8218.69
Dia 18	8079.50	8079.50	8079.50	Dia 18	8711.48	8586.89	8648.80	Dia 18	8354.58	8032.83	8212.90
Dia 19	8079.50	8079.50	8079.50	Dia 19	8751.19	8582.55	8670.82	Dia 19	8333.09	7990.25	8201.53
Dia 20	8419.84	8236.89	8336.59	Dia 20	8727.68	8286.64	8587.62	Dia 20	8289.23	7893.95	8099.17
Dia 21	8472.10	8218.03	8353.65	Dia 21	8606.64	8210.05	8453.29	Dia 21	8186.43	8056.90	8134.07
Dia 22	8509.23	8270.26	8408.21	Dia 22	8636.92	8140.99	8538.13	Dia 22	8226.43	8080.53	8158.73
Dia 23	8771.68	8450.74	8618.34	Dia 23	8638.94	7853.61	8386.89	Dia 23	8275.27	8097.14	8191.00
Dia 24	8745.00	8540.07	8658.63	Dia 24	8497.49	7963.10	8332.08	Dia 24	8256.59	0.00	3317.43
Dia 25	8764.60	8608.22	8695.42	Dia 25	8550.12	8170.89	8429.39	Dia 25	8202.85	16.72	6088.81
Dia 26	8797.48	8555.33	8693.16	Dia 26	8550.68	8067.86	8492.32	Dia 26	8128.78	8035.00	8096.69
Dia 27	8787.26	8535.47	8682.03	Dia 27	8590.60	8446.44	8523.03	Dia 27	8153.14	8075.33	8113.97
Dia 28	8760.30	8469.73	8657.18	Dia 28	8547.59	8303.94	8418.50	Dia 28	8242.27	39.05	5473.56
Dia 29	8779.18	8582.91	8701.33	Dia 29	8566.42	8235.76	8493.89	Dia 29	8249.98	8150.88	8201.33
Dia 30	8856.68	8663.11	8734.83	Dia 30	8574.58	8161.96	8489.73	Dia 30	8278.23	8165.79	8226.81
				Dia 31	8580.92	5321.08	8011.77				

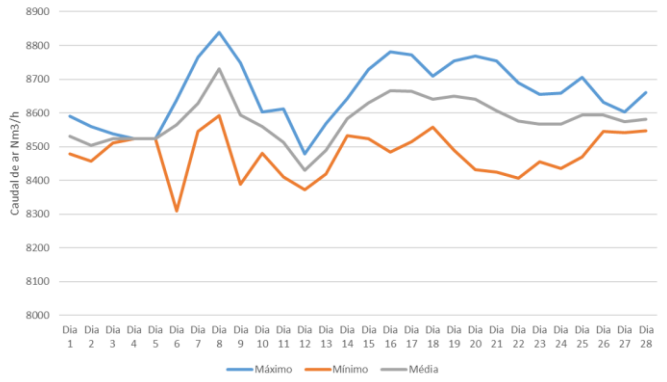
JULHO				AGOSTO			SETEMBRO				
Consumo de ar				Consumo de ar			Consumo de ar				
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média		
Dia 1	8339.19	8112.22	8234.65	Dia 1	8283.49	8017.89	8163.35	Dia 1	8982.71	8565.32	8772.86
Dia 2	8307.51	7992.59	8158.91	Dia 2	8324.2	7985.32	8162.16	Dia 2	8909.01	8571.78	8769.35
Dia 3	8178.83	7858.01	8037.76	Dia 3	8212.28	7950.75	8097.95	Dia 3	8913.40	8604.37	8781.33
Dia 4	8278.86	8096.68	8177.84	Dia 4	8135.84	7913.07	8036.85	Dia 4	8856.11	8637.41	8735.71
Dia 5	8291.62	8193.76	8245.59	Dia 5	8130.77	7896.65	8027.27	Dia 5	8873.43	8626.58	8783.49
Dia 6	8338.23	50.32	7766.49	Dia 6	8223.89	7867.92	8040.11	Dia 6	8942.19	8488.15	8723.50
Dia 7	8346.00	8258.03	8309.46	Dia 7	8223.52	8007.59	8121.93	Dia 7	8898.01	8503.39	8724.47
Dia 8	8334.15	8229.84	8293.52	Dia 8	8294.06	8015.21	8156.03	Dia 8	8922.92	8628.60	8784.02
Dia 9	8331.40	8222.59	8287.61	Dia 9	8285.10	7989.55	8142.70	Dia 9	8886.20	8692.86	8773.95
Dia 10	8348.37	8161.20	8272.20	Dia 10	8349.05	7952.87	8151.72	Dia 10	8975.70	8713.36	8851.20
Dia 11	8358.56	8177.71	8274.35	Dia 11	8267.87	7886.46	8088.21	Dia 11	8901.11	8665.20	8797.48
Dia 12	8345.96	8144.14	8256.09	Dia 12	8243.33	7854.61	8053.64	Dia 12	8997.41	8712.13	8872.88
Dia 13	8342.59	8094.05	8227.85	Dia 13	8196.87	7143.28	7954.97	Dia 13	8997.85	8653.26	8846.56
Dia 14	8308.77	8081.11	8215.90	Dia 14	7146.63	0.00	257.64	Dia 14	8967.52	8688.20	8855.28
Dia 15	8307.02	7994.79	8138.659	Dia 15	0.00	0.00	0.00	Dia 15	9018.84	8717.99	8869.57
Dia 16	8234.46	8004.48	8122.26	Dia 16	28.33	0.00	3.50	Dia 16	9037.44	8773.69	8911.36
Dia 17	8221.55	8045.10	8130.86	Dia 17	30.24	0.00	4.24	Dia 17	9069.76	8815.56	8960.28
Dia 18	8144.57	7995.84	8066.85	Dia 18	53.49	0.00	14.56	Dia 18	8989.38	8810.51	8916.81
Dia 19	8223.16	8023.34	8131.491	Dia 19	48.38	0.00	1.19	Dia 19	8990.34	8755.37	8905.61
Dia 20	8259.07	8017.88	8151.42	Dia 20	0.00	0.00	0.00	Dia 20	9022.60	8680.80	8877.50
Dia 21	8277.89	8008.46	8146.68	Dia 21	8652.88	0.00	1869.20	Dia 21	8963.09	8667.02	8852.12
Dia 22	8207.18	8007.95	8123.82	Dia 22	8752.83	8480.96	8654.77	Dia 22	9001.48	8629.00	8831.72
Dia 23	8262.46	7914.18	8105.44	Dia 23	8742.90	8441.38	8625.73	Dia 23	8851.31	8799.50	8802.14
Dia 24	8235.18	7900.63	8088.55	Dia 24	8772.87	8566.15	8678.65	Dia 24	8799.50	8799.50	8799.50
Dia 25	8257.71	7856.97	8052.556	Dia 25	8771.07	8515.03	8685.67	Dia 25	8953.34	8742.47	8822.23
Dia 26	8186.43	7890.63	8047.07	Dia 26	8771.87	8436.08	8645.62	Dia 26	9014.30	8692.47	8883.25
Dia 27	8261.20	7955.17	8094.21	Dia 27	8737.25	8519.88	8656.85	Dia 27	8980.32	8615.31	8828.57
Dia 28	8146.87	7953.24	8066.04	Dia 28	8808.38	55.35	8195.90	Dia 28	8941.56	8628.36	8817.16
Dia 29	8148.15	7939.29	8071.28	Dia 29	8810.35	8617.05	8738.77	Dia 29	9010.47	8648.32	8862.40
Dia 30	8183.91	7986.64	8095.05	Dia 30	8890.58	8666.77	8767.34	Dia 30	8921.19	8727.72	8851.61
Dia 31	8222.63	8003.21	8119.05	Dia 31	8926.57	8569.39	8777.58				

OUTUBRO				NOVEMBRO			DEZEMBRO				
Consumo de ar			Consumo de ar			Consumo de ar					
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	8967.71	8590.63	8820.94	Dia 1	9010.96	0.00	3222.39	Dia 1	9344.52	0.00	3262.73
Dia 2	8913.39	8463.78	8754.99	Dia 2	8892.08	0.00	6040.48	Dia 2	9427.63	0.00	6450.25
Dia 3	8919.41	8582.90	8790.71	Dia 3	8900.49	73.73	8483.42	Dia 3	9453.46	9100.84	9320.28
Dia 4	8951.90	8636.62	8828.56	Dia 4	9030.90	8742.17	8851.03	Dia 4	9474.08	9115.30	9340.57
Dia 5	8899.57	0.00	3298.38	Dia 5	9163.77	8956.35	9060.29	Dia 5	9471.77	9106.41	9330.38
Dia 6	0.00	0.00	0.00	Dia 6	9264.29	8896.70	9097.18	Dia 6	9415.63	9101.88	9283.94
Dia 7	0.00	0.00	0.00	Dia 7	9243.02	8917.09	9092.11	Dia 7	9286.80	9064.98	9177.57
Dia 8	0.00	0.00	0.00	Dia 8	9213.48	8983.67	9106.23	Dia 8	9125.49	0.00	3296.39
Dia 9	8962.29	0.00	4660.55	Dia 9	9325.30	8994.31	9154.77	Dia 9	9110.19	6.50	5981.14
Dia 10	9056.77	8627.28	8880.79	Dia 10	9289.11	8936.30	9133.68	Dia 10	8995.82	8640.37	8825.80
Dia 11	9093.34	8698.51	8930.86	Dia 11	9320.84	8940.17	9156.43	Dia 11	9173.70	8714.00	8895.53
Dia 12	9066.46	8587.79	8874.75	Dia 12	9300.65	8905.64	9122.12	Dia 12	9262.62	9032.46	9164.13
Dia 13	9068.62	8752.95	8927.11	Dia 13	9190.85	8845.19	9053.37	Dia 13	9159.50	9001.90	9072.46
Dia 14	9028.41	8612.53	8841.45	Dia 14	9148.16	8857.70	9035.48	Dia 14	9021.84	8887.18	8952.73
Dia 15	8864.61	82.43	8470.53	Dia 15	9228.49	8847.58	9077.92	Dia 15	9189.32	8876.06	8977.89
Dia 16	8839.79	8684.86	8768.24	Dia 16	9272.63	8892.46	9114.69	Dia 16	9308.11	9039.93	9195.78
Dia 17	8912.69	8723.55	8827.74	Dia 17	9256.48	8846.16	9094.41	Dia 17	9401.04	9099.13	9285.07
Dia 18	8945.67	8769.16	8869.69	Dia 18	9235.29	8782.10	9054.37	Dia 18	9418.26	9074.47	9284.90
Dia 19	8962.02	8798.46	8897.75	Dia 19	9212.86	8819.28	9061.05	Dia 19	9330.05	8956.71	9187.95
Dia 20	8901.52	8755.45	8812.05	Dia 20	9246.11	8828.94	9077.95	Dia 20	9355.60	5.91	5271.43
Dia 21	9130.47	8870.95	8975.74	Dia 21	9196.48	8790.30	9017.15	Dia 21	52.04	0.00	3.94
Dia 22	9235.21	8862.85	9083.33	Dia 22	9072.27	8695.12	8858.66	Dia 22	0.00	0.00	0.00
Dia 23	9213.01	8746.52	9018.35	Dia 23	8886.96	8750.15	8813.22	Dia 23	0.00	0.00	0.00
Dia 24	9115.74	8620.16	8927.14	Dia 24	8892.33	8792.41	8848.54	Dia 24	0.00	0.00	0.00
Dia 25	9069.71	8643.47	8906.58	Dia 25	9098.94	8852.00	8955.25	Dia 25	0.00	0.00	0.00
Dia 26	9045.75	8662.37	8894.80	Dia 26	9227.96	8999.44	9104.25	Dia 26	0.00	0.00	0.00
Dia 27	9077.74	8598.68	8874.33	Dia 27	9246.73	8953.96	9118.06	Dia 27	25.91	0.00	1.48
Dia 28	9050.64	8631.86	8865.28	Dia 28	9186.84	8910.17	9077.20	Dia 28	64.46	0.00	2.55
Dia 29	9057.92	8629.00	8886.41	Dia 29	9190.64	8593.05	9055.25	Dia 29	38.33	0.00	3.18
Dia 30	8991.42	8659.03	8858.83	Dia 30	9295.46	8530.09	9148.95	Dia 30	43.71	0.00	4.11
Dia 31	8993.19	8681.47	8882.26					Dia 31	0.00	0.00	0.00

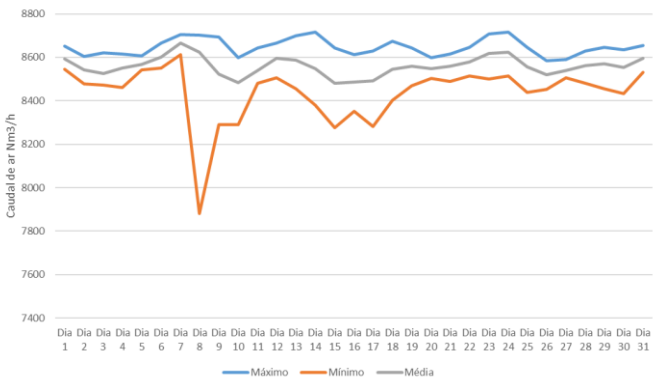
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) janeiro 2017



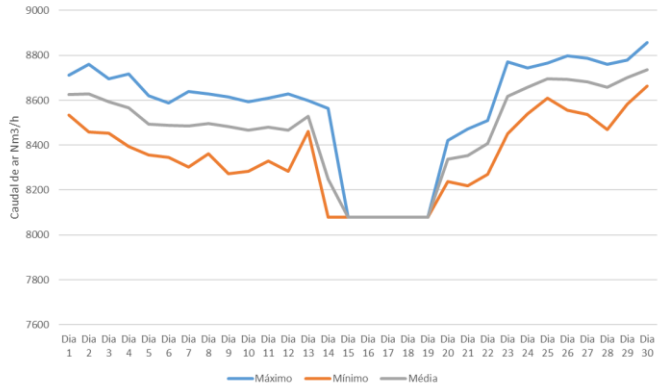
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) fevereiro 2017



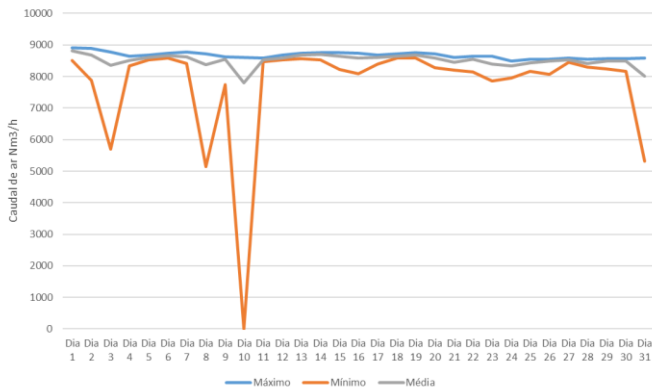
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) março 2017



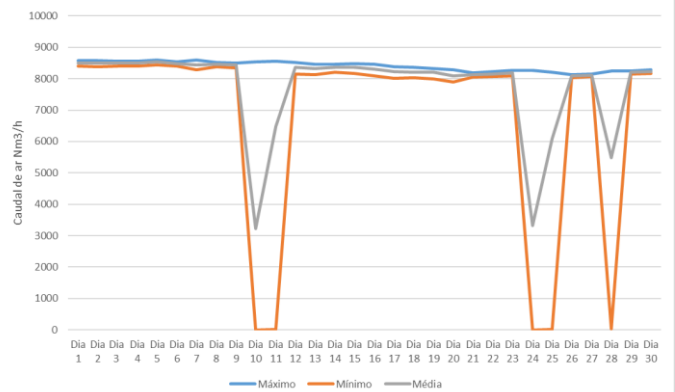
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) abril 2017



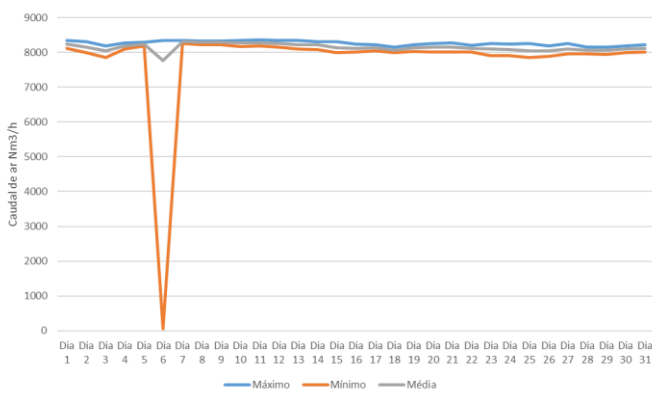
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) maio 2017



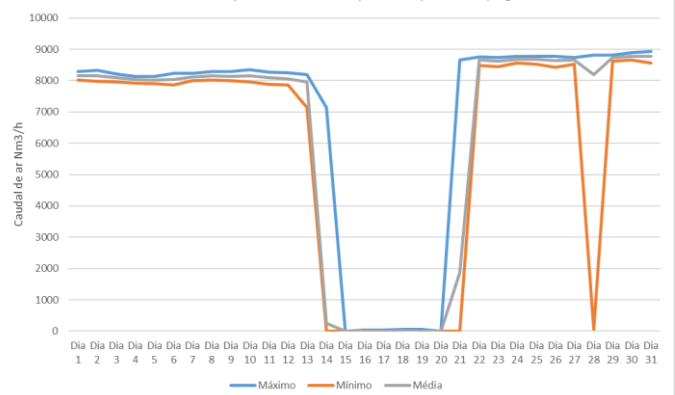
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) junho 2017



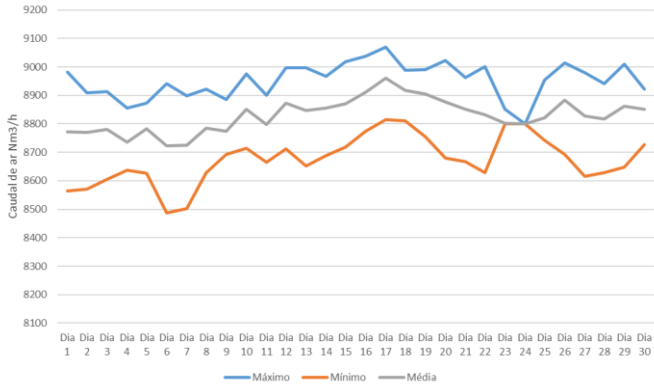
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) julho 2017



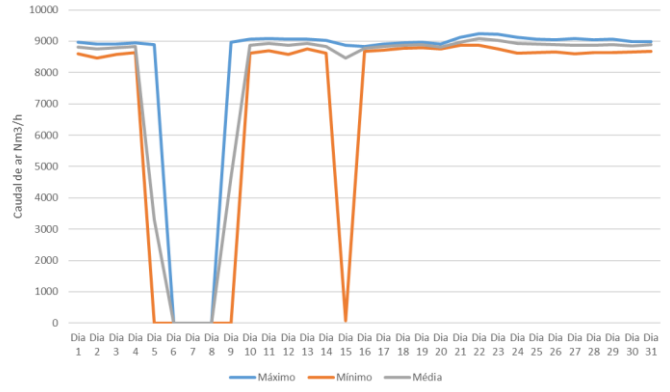
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) agosto 2017



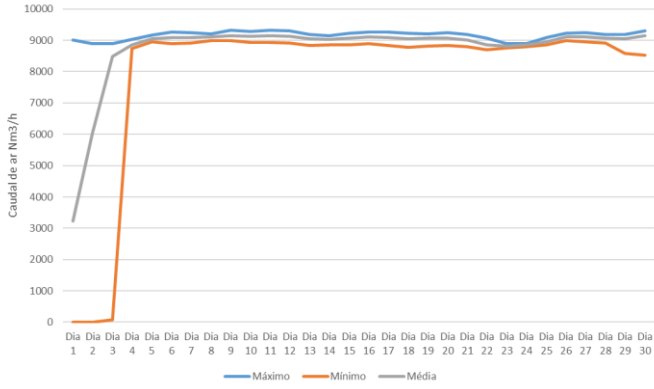
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) setembro 2017



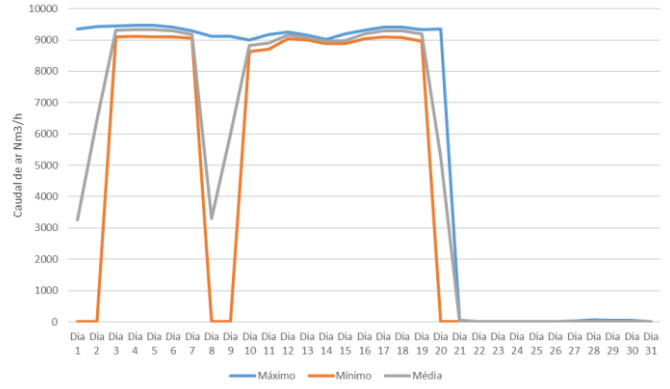
Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) outubro 2017



Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) novembro 2017



Consumos de ar comprimido de baixa pressão (central 2) dezembro 2017



9.5 Anexo 5 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as trocas de turno (Central de produção 1)







9.6 Anexo 6 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão (Período de almoço)

SETEMBRO				
Consumo de ar				
		Média	Máximo	Mínimo
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
1	11h/12h	5867.56	6361.03	5064.13
	12h/13h	5192.58	5794.97	4680.15
	13h/14h	6178.83	6327.40	5977.7
2	11h/12h	6583.16	6725.43	6295.5
	12h/13h	5481.53	6118.63	5121.13
	13h/14h	6301.67	6770.80	5951.63
3	11h/12h	5368.22	5978.63	4971.63
	12h/13h	6323.79	6531.03	6042.77
	13h/14h	6401.51	6863.70	5320.07
4	11h/12h	5991.22	6630.83	4976.67
	12h/13h	5127.54	5318.87	4928.73
	13h/14h	6075.37	6210.57	5985.43
5	11h/12h	5826.44	6261.00	5044.5
	12h/13h	5420.86	5785.97	4978.03
	13h/14h	5814.94	6096.23	5546.54
6	11h/12h	5792.00	6235.47	4851.03
	12h/13h	5113.19	5658.30	4581.73
	13h/14h	5854.64	6106.27	5506.63
7	11h/12h	5803.37	6832.40	4803.13
	12h/13h	5400.98	6030.60	4770.27
	13h/14h	5922.43	6259.10	5687.87
8	11h/12h	5111.08	5479.77	4639.4
	12h/13h	5008.32	5661.57	4196.17
	13h/14h	5340.21	5855.27	5024.5
9	11h/12h	5916.59	6103.73	5721.83
	12h/13h	5399.73	6080.20	4801.6
	13h/14h	4935.04	5380.80	4513.17
10	11h/12h	5116.59	5355.07	5033.27
	12h/13h	5765.29	5935.30	5595.27
	13h/14h	5937.00	6217.67	5631.33
11	11h/12h	6168.55	6393.23	5582.77
	12h/13h	5188.94	5743.50	4779.87
	13h/14h	6132.24	6430.07	5871.13
12	11h/12h	5775.52	6279.90	5126.77
	12h/13h	4611.75	5424.93	4258.97
	13h/14h	6000.24	6069.17	5901.13
13	11h/12h	6304.57	6512.53	5893.1
	12h/13h	5495.66	6076.87	5012.57
	13h/14h	6006.62	6223.00	5677.07
14	11h/12h	7267.33	7891.57	6796.17
	12h/13h	5152.03	5894.17	4549.67
	13h/14h	6379.56	6666.83	6103.97
15	11h/12h	6043.01	6491.37	5304
	12h/13h	4696.38	5195.60	4271.17
	13h/14h	6017.10	6248.77	5860.47
16	11h/12h	7267.33	7891.57	6796.17
	12h/13h	6169.55	6560.30	5778.8

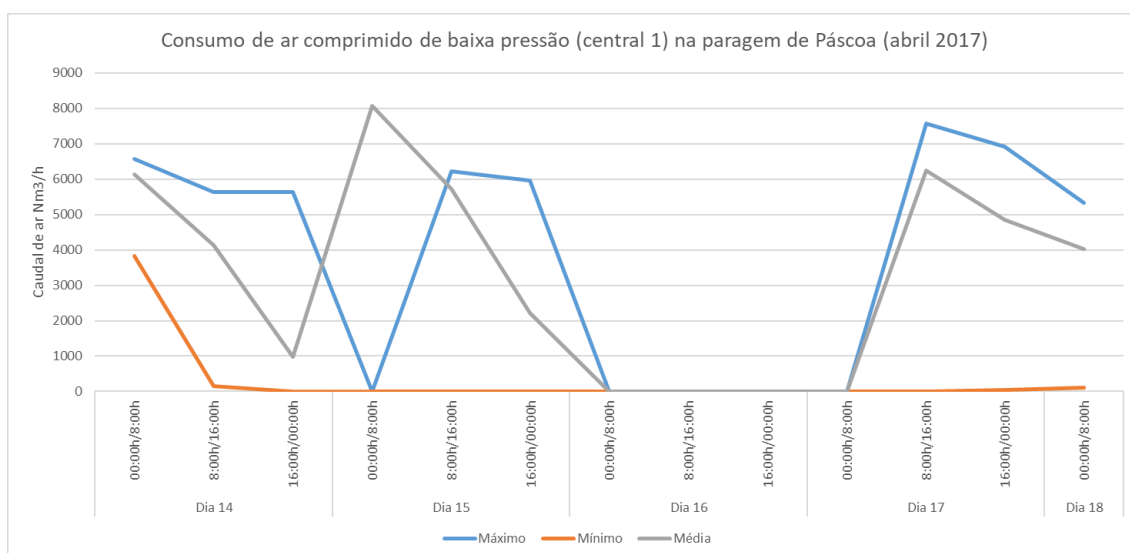
	13h/14h	5594.02	6100.67	5111
17	11h/12h	5734.41	6550.90	5306.93
	12h/13h	6630.54	6865.20	6385.9
	13h/14h	6510.18	6648.80	6276.8
18	11h/12h	6268.49	6718.27	5390.07
	12h/13h	5720.01	6291.33	5340.13
	13h/14h	6560.11	6703.30	6429.7
19	11h/12h	6461.64	7056.20	5681.27
	12h/13h	5676.62	6507.77	5074.13
	13h/14h	6699.47	6849.83	6633.43
20	11h/12h	6099.87	6655.13	5257.2
	12h/13h	5294.59	6302.03	4738.77
	13h/14h	6331.41	6500.20	6087.17
21	11h/12h	5984.56	6486.43	5103.1
	12h/13h	5693.14	6300.13	5104.73
	13h/14h	6682.19	6902.10	6508.9
22	11h/12h	6356.47	6897.37	5379.27
	12h/13h	6244.70	6506.90	5944.4
	13h/14h	6920.08	7002.27	6818.27
23	11h/12h	6799.51	7201.23	6509.07
	12h/13h	5888.98	6631.30	5474.37
	13h/14h	6244.70	6506.90	5944.4
24	11h/12h	5634.99	5919.03	5418.83
	12h/13h	6392.21	6602.30	6142.8
	13h/14h	6932.83	7214.80	6683.43
25	11h/12h	6175.35	6764.77	5234.63
	12h/13h	5820.89	6537.17	4920.53
	13h/14h	6363.02	6488.23	6144.83
26	11h/12h	6218.07	6591.93	5633.13
	12h/13h	5848.73	6066.57	5325.27
	13h/14h	6306.86	6795.00	5649.27
27	11h/12h	5992.80	6346.67	5172.13
	12h/13h	5446.60	5770.20	5077.37
	13h/14h	6125.97	6327.90	5921.67
28	11h/12h	5785.39	6487.70	5279.77
	12h/13h	5227.13	5524.03	4932.83
	13h/14h	5837.69	5961.87	5735.6
29	11h/12h	5548.90	6468.73	4836.93
	12h/13h	5288.48	6253.97	4693.76
	13h/14h	6079.81	6410.82	5677.77
30	11h/12h	6377.81	6578.00	6138.5
	12h/13h	5492.74	5791.00	5268.83
	13h/14h	6226.24	6446.87	6034.67

9.7 Anexo 7 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as paragens de produção (Central de produção 1)

PÁSCOA (ABRIL)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 14	00:00h/8:00h	6577.27	3834.43	6137.51
	8:00h/16:00h	5627.83	142.30	4131.41
	16:00h/00:00h	5635.13	0.00	970.37
Dia 15	00:00h/8:00h	0.00	0.00	8079.50
	8:00h/16:00h	6214.47	0.00	5724.05
	16:00h/00:00h	5967.17	0.00	2225.88
Dia 16	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 17	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	7578.47	0.00	6235.28
	16:00h/00:00h	6909.40	46.13	4858.22
Dia 18	00:00h/8:00h	5321.30	109.13	4016.04



DIA DO TRABALHADOR (MAIO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	16:00h/00:00h	3285.87	144.20	372.10

DIA DE PORTUGAL (JUNHO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 10	8:00h/16:00h	7934.23	289.30	6993.37
	16:00h/00:00h	7687.00	6736.37	7184.74
Dia 11	00:00h/8:00h	8309.47	486.90	6042.36

S. JOÃO (JUNHO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 24	8:00h/16:00h	2851.00	164.08	1386.81
	16:00h/00:00h	8712.87	577.33	5477.49
Dia 25	00:00h/8:00h	7325.47	191.00	4498.58

PARAGENS DE VERÃO (AGOSTO)

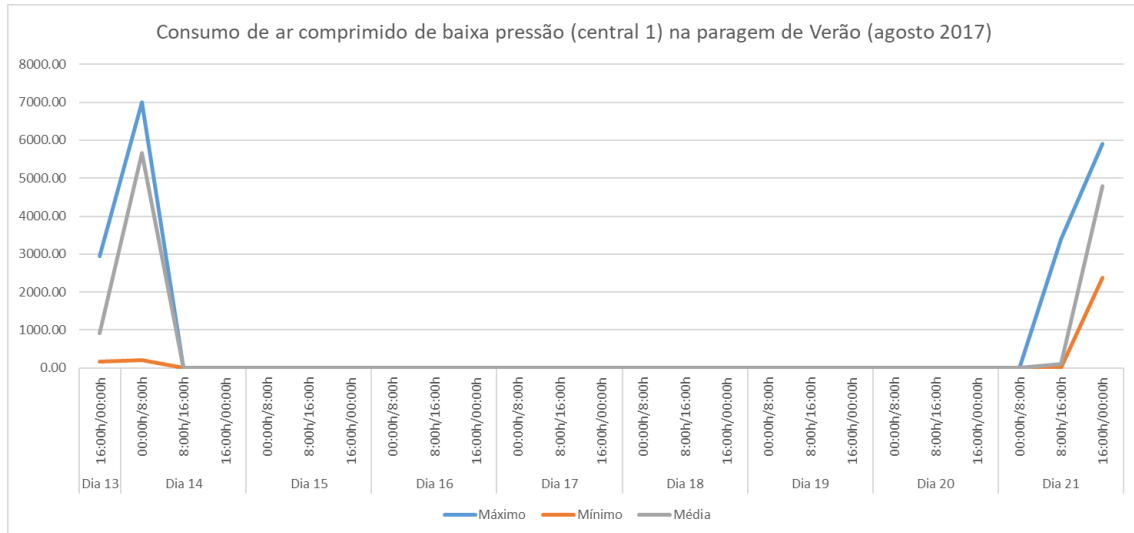
Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 13	16:00h/00:00h	2950.87	170.27	908.94
Dia 14	00:00h/8:00h	6996.63	201.70	5665.75
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 15	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 16	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 17	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 18	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 19	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 20	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 21	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	3392.19	0.00	109.43

PARAGENS DE VERÃO (AGOSTO)

Consumo de ar

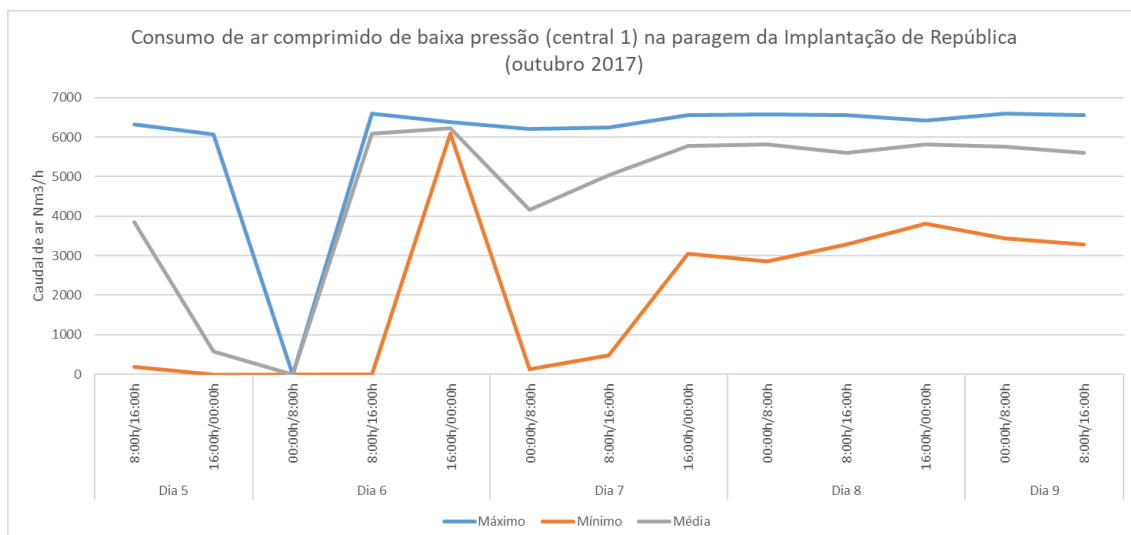
	Máximo	Mínimo	Média
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
16:00h/00:00h	5909.03	2368.33	4792.37



IMPLANTAÇÃO DA REPÚBLICA (OUTUBRO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 5	8:00h/16:00h	6320.5	181.87	3840.94
	16:00h/00:00h	6060.83	0.00	583.72
Dia 6	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	6596.87	0.00	6095.87
	16:00h/00:00h	6371.23	6088.53	6220.21
Dia 7	00:00h/8:00h	6214.33	123.27	4166.26
	8:00h/16:00h	6251.17	484.63	5042.08
	16:00h/00:00h	6553.73	3058.67	5782.60
Dia 8	00:00h/8:00h	6583.17	2855.73	5818.88
	8:00h/16:00h	6549.67	3289.13	5595.14
	16:00h/00:00h	6427.30	3808.73	5821.47
Dia 9	00:00h/8:00h	6589.97	3439.33	5766.91
	8:00h/16:00h	6549.67	3289.13	5595.14



DIA DE TODOS OS SANTOS (NOVEMBRO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	8:00h/16:00h	3309.23	308.87	755.53
	16:00h/00:00h	3440.57	568.47	2034.35
Dia 2	00:00h/8:00h	8970.80	947.73	4158.28

RESTAURAÇÃO DA INDEPENDÊNCIA (DEZEMBRO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	8:00h/16:00h	3650.07	558.43	1040.76
	16:00h/00:00h	3513.10	640.47	2141.22
Dia 2	00:00h/8:00h	6857.47	125.73	5223.35

IMACULADA CONCEIÇÃO (DEZEMBRO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 8	8:00h/16:00h	2690.87	181.57	880.12
	16:00h/00:00h	5967.10	599.33	2656.67
Dia 9	00:00h/8:00h	7373.30	4663.97	4980.97

NATAL (DEZEMBRO)

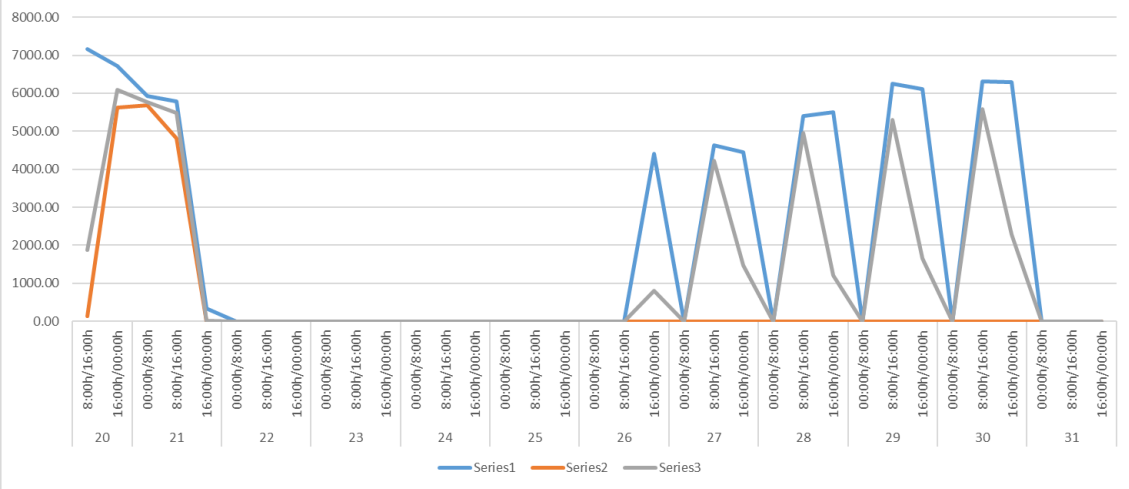
Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
20	8:00h/16:00h	7168.50	141.73	1874.95

NATAL (DEZEMBRO)

Consumo de ar				
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	16:00h/00:00h	6714.70	5621.97	6089.15
21	00:00h/8:00h	5923.20	5679.87	5763.00
	8:00h/16:00h	5790.90	4813.70	5475.90
	16:00h/00:00h	343.10	0.00	20.74
22	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
23	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
24	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
25	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
26	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	4406.40	0.00	810.30
27	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	4631.50	0.00	4230.53
	16:00h/00:00h	4446.80	0.00	1479.73
28	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	5404.50	0.00	4959.04
	16:00h/00:00h	5501.00	0.00	1209.70
29	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	6257.00	0.00	5305.59
	16:00h/00:00h	6103.17	0.00	1660.08
30	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	6306.60	0.00	5579.26
	16:00h/00:00h	6297.67	0.00	2285.10
31	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00

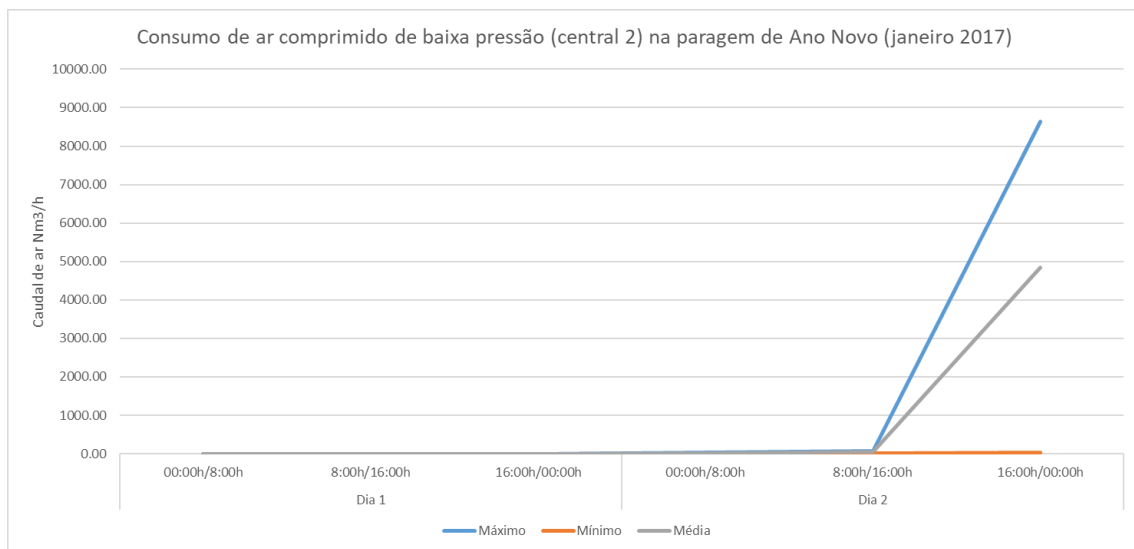
Consumo de ar comprimido de baixa pressão (central 1) na paragem de Natal (dezembro 2017)



9.8 Anexo 8 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão durante as paragens de produção (Central de produção 2)

ANO NOVO (JANEIRO)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 2	00:00h/8:00h	39.59	0.00	11.37
	8:00h/16:00h	64.16	20.06	45.90
	16:00h/00:00h	8643.36	26.85	4849.31



PÁSCOA (ABRIL)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
14	00:00h/8:00h	-	-	-
	8:00h/16:00h	-	-	-
	16:00h/00:00h	-	-	-
15	00:00h/8:00h	-	-	-
	8:00h/16:00h	-	-	-
	16:00h/00:00h	-	-	-
16	00:00h/8:00h	-	-	-
	8:00h/16:00h	-	-	-
	16:00h/00:00h	-	-	-
17	00:00h/8:00h	-	-	-
	8:00h/16:00h	-	-	-
	16:00h/00:00h	-	-	-
18	00:00h/8:00h	-	-	-

DIA DO TRABALHADOR (MAIO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	16:00h/00:00h	8840.51	8507.89	8754.46

DIA DE PORTUGAL (JUNHO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 10	8:00h/16:00h	8509.81	0.00	929.38
	16:00h/00:00h	53.65	13.33	21.08
Dia 11	00:00h/8:00h	8558.55	16.89	2661.38

S. JOÃO (JUNHO)

Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 24	8:00h/16:00h	8223.16	0.00	1705.31
	16:00h/00:00h	60.93	0.00	15.80
Dia 25	00:00h/8:00h	8202.85	16.72	3078.95

PARAGENS DE VERÃO (AGOSTO)

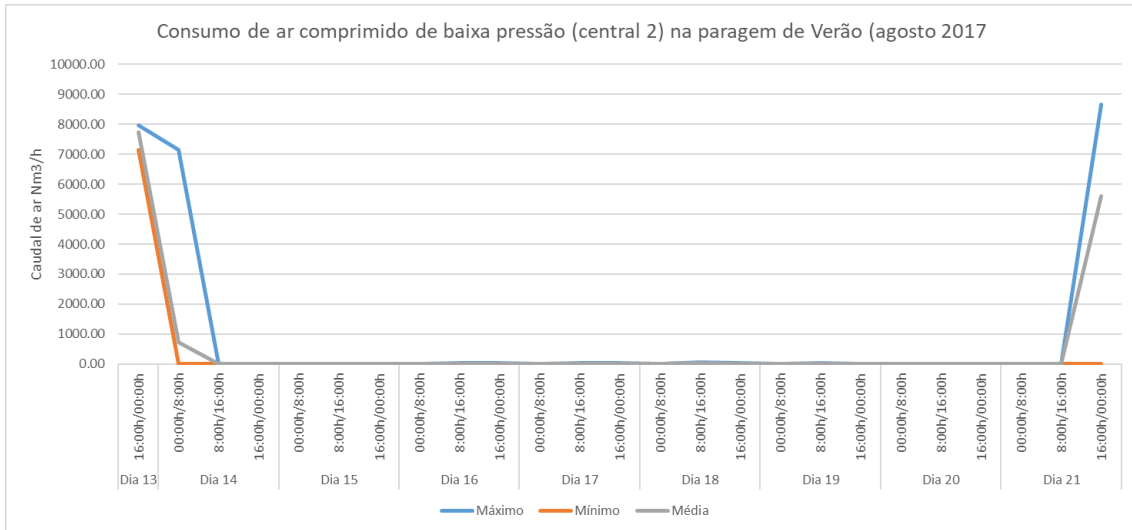
Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 13	16:00h/00:00h	7956.05	7143.28	7741.07
Dia 14	00:00h/8:00h	7146.63	3.50	732.66
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 15	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 16	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	26.91	0.00	7.44
	16:00h/00:00h	28.33	0.00	3.06
Dia 17	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	30.24	0.00	7.64
	16:00h/00:00h	23.96	0.00	5.09
Dia 18	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	53.49	6.89	32.10
	16:00h/00:00h	31.32	0.00	11.57

PARAGENS DE VERÃO (AGOSTO)

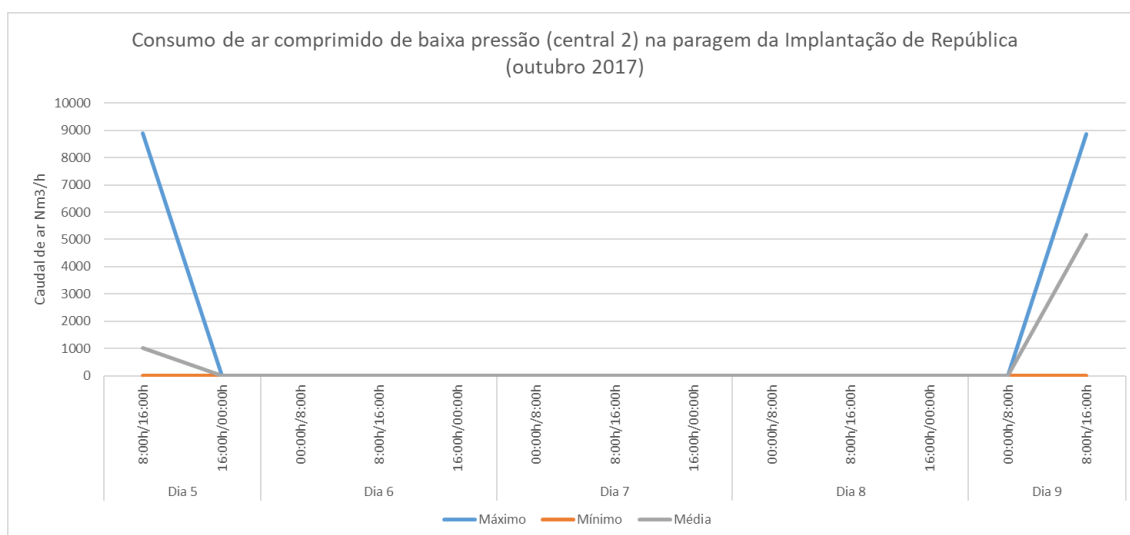
Consumo de ar

		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 19	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	48.38	0.00	3.58
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 20	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 21	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	8652.88	0.00	5607.60



IMPLANTAÇÃO DA REPÚBLICA (OUTUBRO)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 5	8:00h/16:00h	8899.57	0.00	1024.95
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 6	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 7	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 8	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 9	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	8866.79	0.00	5161.25



DIA DE TODOS OS SANTOS (NOVEMBRO)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	8:00h/16:00h	8970.41	0.00	683.06
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 2	00:00h/8:00h	8851.23	0.00	443.62

RESTAURAÇÃO DA INDEPENDÊNCIA (DEZEMBRO)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 1	8:00h/16:00h	5893.50	0.00	510.59
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
Dia 2	00:00h/8:00h	9013.18	0.00	848.32

IMACULADA CONCEIÇÃO (DEZEMBRO)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Dia 8	8:00h/16:00h	9076.02	0.00	781.71
	16:00h/00:00h	59.96	0.00	4.77
Dia 9	00:00h/8:00h	54.17	6.50	10.22

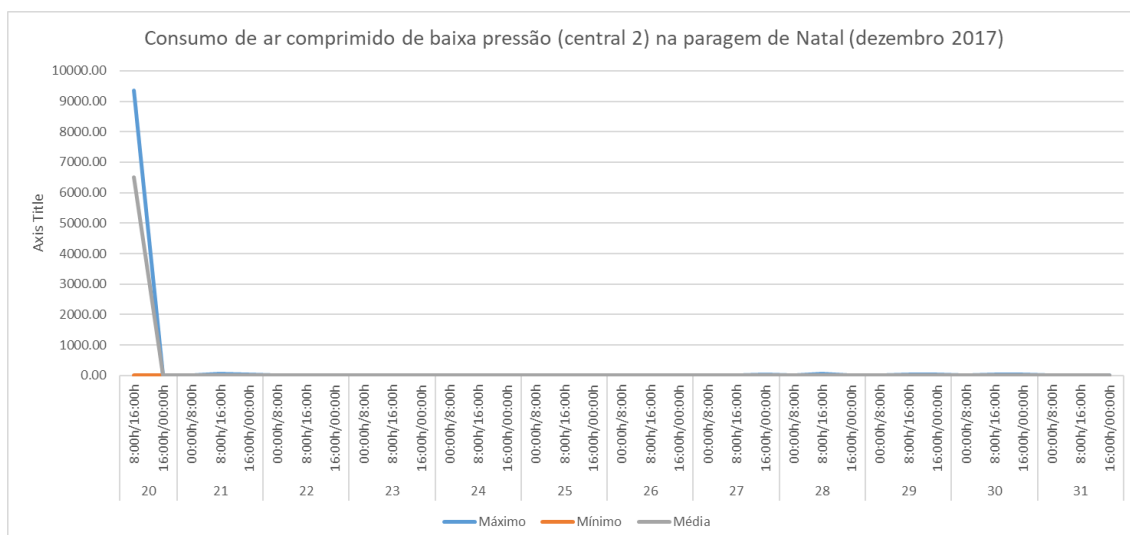
NATAL (DEZEMBRO)

		Consumo de ar		
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
20	8:00h/16:00h	9348.55	7.51	6500.53
	16:00h/00:00h	12.54	5.91	8.39
21	00:00h/8:00h	7.36	5.10	6.15
	8:00h/16:00h	52.04	0.67	4.65
	16:00h/00:00h	28.85	0.00	0.93
22	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
23	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
24	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
25	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
26	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00
27	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	5.91	0.00	2.86
	16:00h/00:00h	25.91	0.00	1.66
28	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00

NATAL (DEZEMBRO)

Consumo de ar

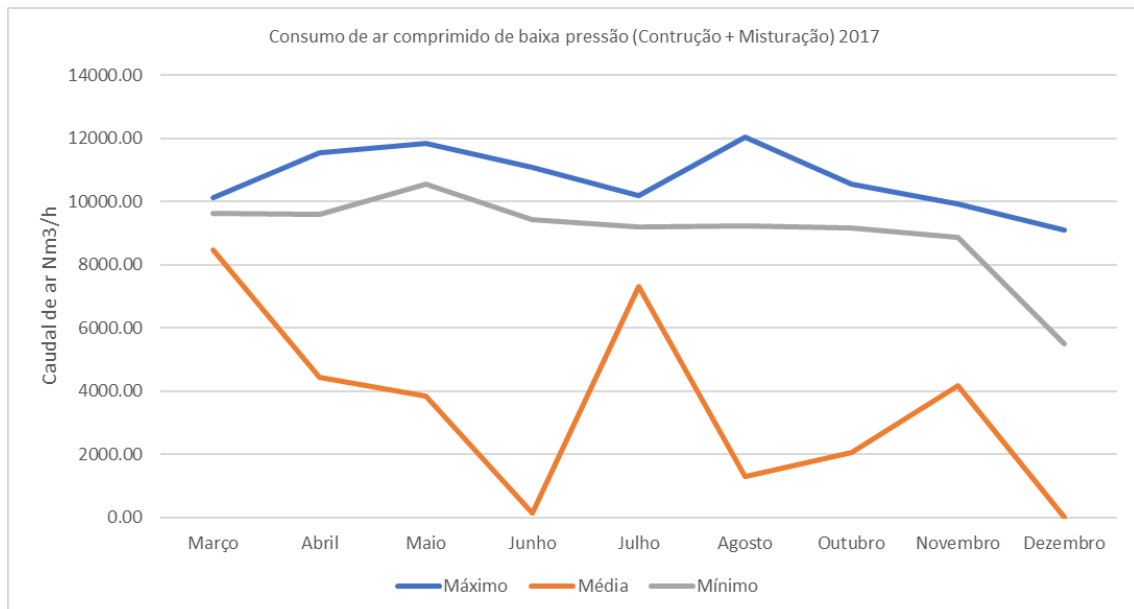
		Máximo	Mínimo	Média
		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	8:00h/16:00h	64.46	0.00	5.96
	16:00h/00:00h	21.62	0.00	1.89
29	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	38.33	0.00	7.35
	16:00h/00:00h	28.62	0.00	2.18
	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
30	8:00h/16:00h	33.33	0.00	5.80
	16:00h/00:00h	43.71	0.00	6.52
31	00:00h/8:00h	0.00	0.00	0.00
	8:00h/16:00h	0.00	0.00	0.00
	16:00h/00:00h	0.00	0.00	0.00



9.9 Anexo 9 - Consumos de ar comprimido de baixa pressão dos vários setores de fábrica

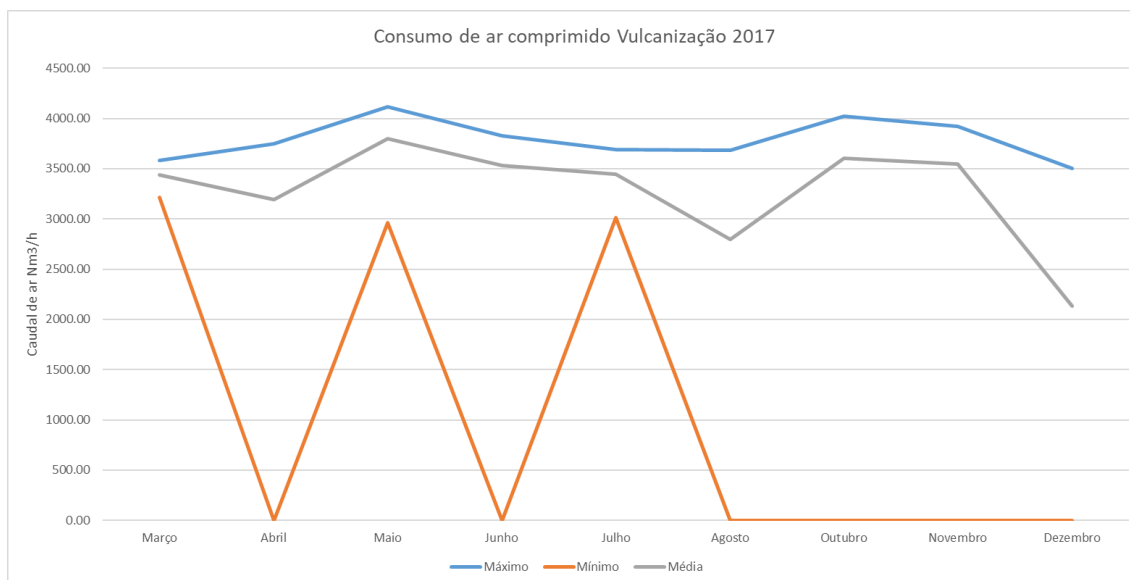
DADOS MENSAIS DO ANO DE 2017 (Construção + Misturação)

Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média
Janeiro	-	-	-
Fevereiro	-	-	-
Março	10129.92	8455.96	9619.60
Abril	11541.45	4446.34	9592.86
Maio	11832.65	3852.68	10558.12
Junho	11085.40	148.10	9416.99
Julho	10189.46	7299.17	9181.19
Agosto	12030.89	1305.85	9231.98
Outubro	10558.24	2044.09	9168.01
Novembro	9936.07	4160.13	8866.47
Dezembro	9089.83	0.00	5484.22



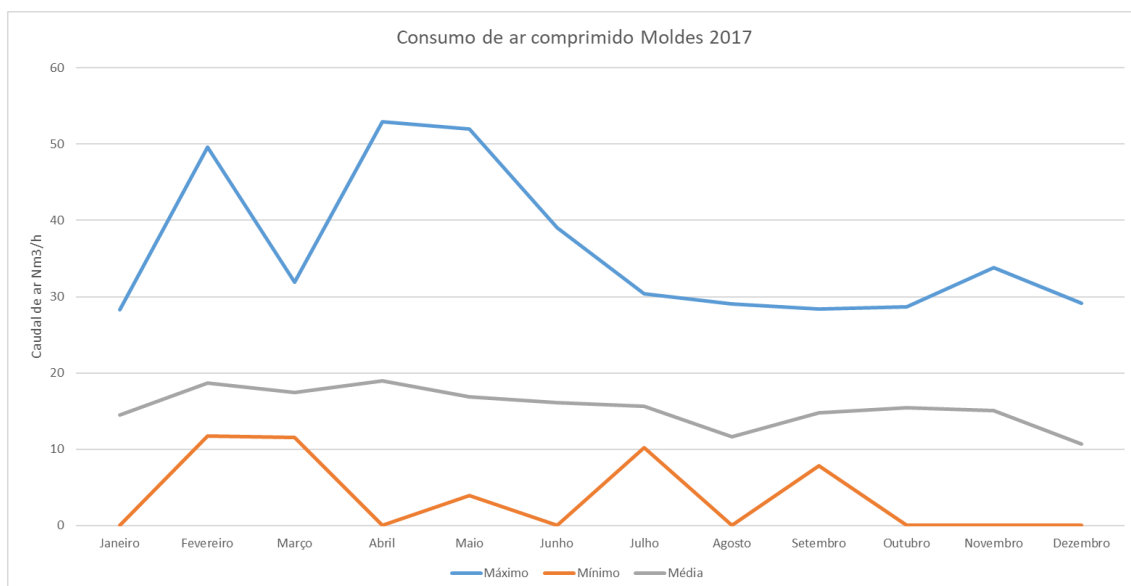
**DADOS MENSAIS DO ANO DE 2017
(Vulcanização)**

Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média
Janeiro	-	-	-
Fevereiro	-	-	-
Março	3578.49	3212.94	3436.91
Abril	3747.53	0.00	3193.92
Maio	4115.89	2963.58	3798.16
Junho	3828.61	0.00	3534.48
Julho	3693.74	3009.60	3447.97
Agosto	3681.79	0.00	2793.20
Outubro	4020.68	0.00	3602.06
Novembro	3918.13	0.00	3545.24
Dezembro	3502.57	0.00	2135.74



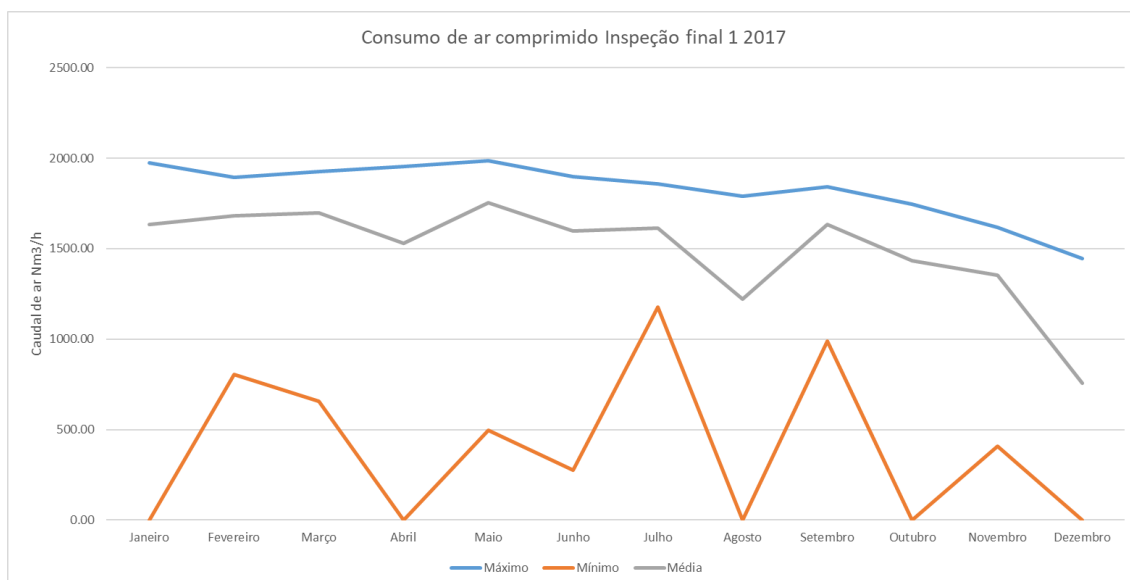
DADOS MENSAIS DO ANO DE 2017 (MOLDES)

Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média
Janeiro	28.25	0.00	14.52
Fevereiro	49.64	11.75	18.64
Março	31.87	11.51	17.45
Abril	52.93	0.00	18.92
Maio	51.96	3.89	16.89
Junho	39.01	0.00	16.14
Julho	30.36	10.17	15.62
Agosto	29.01	0.00	11.69
Setembro	28.37	7.80	14.74
Outubro	28.71	0.00	15.47
Novembro	33.86	0.00	15.09
Dezembro	29.18	0.00	10.72



DADOS MENSAIS DO ANO DE 2017 (INSPEÇÃO FINAL 1)

Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média
Janeiro	1975.37	0.00	1635.71
Fevereiro	1893.25	803.49	1682.48
Março	1926.20	658.05	1697.81
Abril	1954.42	0.00	1530.66
Maiο	1986.37	494.53	1755.35
Junho	1898.60	274.29	1596.70
Julho	1858.28	1175.69	1615.36
Agosto	1790.75	0.00	1221.95
Setembro	1843.90	988.64	1635.06
Outubro	1745.05	0.00	1435.24
Novembro	1618.76	408.50	1354.10
Dezembro	1447.01	0.00	755.90



ABRIL (Inspeção Final 2)				MAIO (Inspeção Final 2)			
Consumo de ar				Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	-	-	-	Dia 1	273.34	0.00	19.55
Dia 2	-	-	-	Dia 2	484.33	0.00	356.60
Dia 3	-	-	-	Dia 3	479.64	159.90	385.98
Dia 4	-	-	-	Dia 4	504.56	111.40	392.87
Dia 5	-	-	-	Dia 5	511.52	150.97	395.94
Dia 6	599.98	338.41	440.78	Dia 6	880.18	99.37	226.58
Dia 7	526.70	281.12	448.68	Dia 7	519.74	42.01	331.87
Dia 8	547.05	312.71	441.73	Dia 8	542.70	142.54	401.09
Dia 9	612.13	230.62	472.90	Dia 9	553.55	203.22	406.32
Dia 10	728.62	234.81	401.21	Dia 10	534.95	109.94	406.34
Dia 11	471.34	224.47	361.51	Dia 11	529.26	178.03	396.42
Dia 12	457.90	104.26	360.76	Dia 12	514.84	235.99	393.71
Dia 13	490.65	211.77	371.08	Dia 13	496.28	189.78	371.62
Dia 14	509.14	251.69	371.95	Dia 14	496.40	123.31	380.76
Dia 15	467.34	132.17	344.98	Dia 15	526.14	150.37	389.33
Dia 16	473.09	193.87	473.09	Dia 16	541.86	219.57	410.46
Dia 17	467.60	157.19	355.66	Dia 17	495.59	117.42	398.79
Dia 18	491.26	167.51	371.58	Dia 18	527.26	281.57	432.37
Dia 19	482.92	227.16	376.76	Dia 19	528.98	255.06	409.49
Dia 20	480.60	96.08	367.59	Dia 20	461.98	193.02	374.12
Dia 21	486.02	163.23	374.37	Dia 21	516.61	82.05	389.91
Dia 22	477.33	158.06	349.36	Dia 22	483.66	177.30	365.92
Dia 23	489.35	239.80	387.97	Dia 23	500.92	98.65	368.96
Dia 24	527.89	182.36	527.89	Dia 24	514.71	166.79	392.64
Dia 25	460.35	0.00	137.24	Dia 25	545.02	142.64	416.97
Dia 26	481.79	0.00	239.64	Dia 26	508.60	150.00	367.64
Dia 27	488.50	166.85	375.15	Dia 27	528.16	218.93	392.99
Dia 28	489.48	81.24	372.81	Dia 28	516.45	146.95	374.08
Dia 29	490.32	270.08	395.96	Dia 29	561.58	55.85	410.68
Dia 30	477.44	217.31	386.24	Dia 30	-	-	-
				Dia 31	-	-	-

JUNHO (Agro)				JULHO (Agro)			
Consumo de ar				Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	525.51	187.93	381.77	Dia 1	656.48	296.62	528.58
Dia 2	506.42	147.47	381.64	Dia 2	703.87	377.19	531.47
Dia 3	560.21	176.31	387.59	Dia 3	645.05	404.35	546.15
Dia 4	602.17	149.33	418.31	Dia 4	693.67	277.52	535.27
Dia 5	565.89	269.87	437.65	Dia 5	700.55	329.21	548.08
Dia 6	565.72	199.32	422.38	Dia 6	671.32	0.00	454.43
Dia 7	559.51	175.36	418.95	Dia 7	698.19	221.63	547.97
Dia 8	544.07	193.59	417.53	Dia 8	696.21	327.31	563.62
Dia 9	565.99	250.98	439.81	Dia 9	695.07	315.58	558.04
Dia 10	537.89	0.00	124.77	Dia 10	707.70	376.48	562.82
Dia 11	538.85	0.00	279.04	Dia 11	713.67	413.19	573.70
Dia 12	601.43	288.37	441.28	Dia 12	700.67	386.20	562.98
Dia 13	568.43	253.62	428.64	Dia 13	746.28	375.42	553.71
Dia 14	577.85	187.58	454.56	Dia 14	702.04	323.70	544.01
Dia 15	609.10	291.80	457.91	Dia 15	668.23	382.91	546.22
Dia 16	585.61	120.76	415.78	Dia 16	671.58	316.85	553.41
Dia 17	627.80	216.88	426.57	Dia 17	713.73	373.67	564.99
Dia 18	593.60	189.96	439.75	Dia 18	702.32	292.46	543.74
Dia 19	518.84	190.34	419.47	Dia 19	707.02	326.80	545.00
Dia 20	563.87	144.19	446.98	Dia 20	734.23	343.22	581.8
Dia 21	565.06	344.01	456.99	Dia 21	723.06	342.52	563.68
Dia 22	563.38	204.07	452.91	Dia 22	723.86	213.18	558.64
Dia 23	558.79	0.00	161.99	Dia 23	713.29	273.52	580.00
Dia 24	219.85	0.00	3.80	Dia 24	734.09	282.68	575.45
Dia 25	624.90	0.00	355.17	Dia 25	770.91	396.68	581.05
Dia 26	675.41	230.01	527.09	Dia 26	715.37	315.30	586.44
Dia 27	642.62	368.46	536.65	Dia 27	798.99	475.20	624.41
Dia 28	650.68	317.01	530.93	Dia 28	756.10	273.76	626.17
Dia 29	663.24	350.21	518.50	Dia 29	776.33	349.54	612.34
Dia 30	655.28	303.05	518.94	Dia 30	776.79	415.95	612.76
	675.41	0.00	403.45	Dia 31	710.81	412.73	588.21

AGOSTO (Agro)				SETEMBRO (Agro)			
Consumo de ar				Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	704.43	441.24	584.61	Dia 1	808.87	386.56	660.83
Dia 2	723.72	385.48	575.92	Dia 2	920.69	387.02	686.45
Dia 3	757.56	467.54	600.37	Dia 3	864.92	412.72	652.80
Dia 4	731.34	412.75	617.56	Dia 4	780.02	387.05	618.68
Dia 5	826.99	484.76	658.90	Dia 5	811.43	539.23	682.17
Dia 6	858.72	503.66	700.61	Dia 6	804.01	414.87	653.68
Dia 7	887.30	546.07	735.64	Dia 7	782.94	418.72	641.67
Dia 8	892.00	580.78	752.84	Dia 8	760.77	74.06	576.36
Dia 9	911.86	448.20	705.44	Dia 9	804.93	438.29	672.78
Dia 10	757.38	448.20	705.44	Dia 10	802.89	347.22	675.60
Dia 11	816.43	358.02	618.54	Dia 11	818.00	551.98	701.84
Dia 12	750.06	54.80	563.02	Dia 12	823.58	582.87	694.22
Dia 13	189.48	0.00	9.95	Dia 13	852.07	483.21	654.94
Dia 14	0.00	0.00	0.00	Dia 14	807.05	529.25	687.71
Dia 15	0.00	0.00	0.00	Dia 15	860.21	533.32	696.60
Dia 16	119.35	0.00	4.57	Dia 16	888.30	523.32	690.51
Dia 17	162.27	0.00	18.28	Dia 17	893.06	554.63	701.90
Dia 18	82.35	0.00	1.87	Dia 18	892.97	533.74	741.67
Dia 19	0.00	0.00	0.00	Dia 19	849.85	600.53	718.03
Dia 20	544.62	0.00	179.63	Dia 20	872.46	509.47	721.63
Dia 21	692.62	295.57	528.23	Dia 21	937.40	551.67	719.91
Dia 22	759.60	452.08	615.53	Dia 22	993.94	454.27	762.14
Dia 23	791.40	211.79	604.51	Dia 23	1059.88	602.29	782.95
Dia 24	817.85	417.72	661.62	Dia 24	968.46	486.52	733.47
Dia 25	793.19	285.72	660.29	Dia 25	854.70	290.75	693.51
Dia 26	763.07	432.06	655.49	Dia 26	1020.77	537.20	718.97
Dia 27	1009.23	402.84	661.83	Dia 27	794.85	484.87	665.19
Dia 28	800.28	395.05	644.16	Dia 28	808.81	350.52	656.89
Dia 29	796.41	459.24	648.69	Dia 29	1009.55	528.36	725.72
Dia 30	977.79	422.17	656.79	Dia 30	851.33	595.66	724.32
Dia 31	914.51	431.45	677.16				

OUTUBRO (Agro)				NOVEMBRO (Agro)			
Consumo de ar				Consumo de ar			
	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h		Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
	Máximo	Mínimo	Média		Máximo	Mínimo	Média
Dia 1	864.06	439.22	675.35	Dia 1	847.76	0.00	273.72
Dia 2	854.86	498.5	718.08	Dia 2	48.03	0.00	7.58
Dia 3	904.55	465.00	754.92	Dia 3	960.10	0.00	468.92
Dia 4	889.49	558.69	741.42	Dia 4	882.14	574.32	758.33
Dia 5	783.53	0.00	253.55	Dia 5	931.96	343.50	732.97
Dia 6	839.62	0.00	472.29	Dia 6	939.59	517.46	752.91
Dia 7	800.90	473.95	684.23	Dia 7	965.23	166.82	660.87
Dia 8	860.68	580.38	734.20	Dia 8	957.50	550.21	733.98
Dia 9	837.15	492.42	708.73	Dia 9	885.39	458.57	722.98
Dia 10	877.03	478.23	718.96	Dia 10	1081.99	359.41	737.14
Dia 11	872.96	543.47	733.65	Dia 11	963.34	443.50	743.12
Dia 12	921.05	586.49	744.75	Dia 12	883.34	475.13	719.59
Dia 13	856.84	476.97	710.87	Dia 13	939.49	510.15	750.41
Dia 14	862.59	611.52	750.97	Dia 14	930.30	573.06	730.85
Dia 15	907.00	530.91	732.20	Dia 15	1021.32	450.13	734.13
Dia 16	878.17	590.52	741.70	Dia 16	882.53	505.02	723.75
Dia 17	932.00	386.59	744.06	Dia 17	1064.95	522.10	797.66
Dia 18	884.70	474.16	738.43	Dia 18	1083.50	400.77	769.68
Dia 19	912.85	615.65	760.04		1083.50	0.00	656.59
Dia 20	914.42	564.82	772.72				
Dia 21	902.29	531.99	749.53				
Dia 22	899.43	607.51	745.49				
Dia 23	1062.86	502.54	783.78				
Dia 24	995.14	453.95	775.17				
Dia 25	975.60	500.26	776.33				
Dia 26	893.70	532.43	745.41				
Dia 27	905.63	399.03	737.96				
Dia 28	928.45	482.12	770.67				
Dia 29	1010.89	279.61	760.65				
Dia 30	1060.59	634.12	835.53				
Dia 31	940.46	611.59	779.19				


9.10 Anexo 10 – Resultados da auditoria à qualidade do ar comprimido de baixa pressão e certificados de calibração dos aparelhos de medida

Relatório de Ensaios ao Ar Comprimido (Químicos e Partículas)

Relatório N.º	E0013/19	Emitido em	2 de maio de 2019
Cliente	Continental Mabor - Industria de Pneus, S.A.		
Departamento	Linha de Ar Comprimido		
Morada	Rua Adelino Leitão nº 330 4764-906 EC Lousado		
Requisição	---	Requisitado por	Eng.º Orlando Couto

Ensaios Efectuados	
Concentração de Óleos Total	<input checked="" type="checkbox"/>
Contagem de Partículas	<input checked="" type="checkbox"/>
Concentração H2O	<input checked="" type="checkbox"/>

Testes de acordo com a Norma ISO 14644-1 e ISO 8573-1/2/3/4/5/6 com os Procedimentos Técnicos

Ensaios Executados pelo(s) Técnico(s)	
Hélder Sousa / Carla Morais	em 24/04/19
Relatório Efectuado por	Hélder Sousa
Relatório Verificado por	Hélder Sousa (Resp. Técnico) 

Relatório Aprovado por (Cliente)

Este relatório não poderá ser reproduzido parcialmente sem a autorização prévia da Tradelabor		
Relatório Nº	E0013 /19	Edição 1 / Pág. 1 / 6
		Modelo REAQAC 01/10

Ponto AC	
Localização	Área Técnico
Ar Comprimido	Saída Central 1

1 – Concentração de Óleos Total				Objectivo: Determinação da concentração de Óleos total no ar comprimido	
Tipo de Óleo	Isento	Valor de referência avaliada (mg/m ³)		≤ 0,1	
Limite de detecção (µg)	4	Press. Amost.(bar)	3	Caudal Amost. (l/min)	4
Amostragem	Dia	Tempo de Amostragem (min)	Resultado (mg/m ³)	Classe ISO 8573-1	
1	24/04/2019	10	≤ 0,1	2	
2		10	≤ 0,1	2	
3		10	≤ 0,1	2	

2 – Concentração de Vapores de Águas (H ₂ O)				Objectivo: Determinação da concentração de H ₂ O no ar comprimido	
Pressão Amostragem (bar)	3		Caudal Amostragem (l/min)	4	
Amostragem	Dia	Tempo de Amostra (min)	Resultado (mg/m ³)	DP à Pressão na Linha (Cº)	Classe ISO 8573-1
1	24/04/2019	2,5	1500	-0,2	4
2		2,5	1500	-0,2	4
3		2,5	1500	-0,2	4

* 1mg/m³ H₂O= 1,33ppm H₂O (20°C,1013hPa)

3– Contagem de Partículas				Objectivo: Medição de partículas de forma a determinar a classe.	
Amostragem	Dia	Número de Partículas / m ³			Classe ISO 8573-1
		0,5 µm	0,5<d≤1,0µm	1,0<d≤5,0µm	
1	24/04/2019	8930570	134350	1480	4

Ponto AC	
Localização	Área Técnica
Ar Comprimido	Saída Central 2

1 – Concentração de Óleos Total				Objectivo: Determinação da concentração de Óleos total no ar comprimido	
Tipo de Óleo	Isento	Valor de referência avaliada (mg/m ³)		≤ 0,1	
Limite de detecção (µg)	4	Press. Amost.(bar)	3	Caudal Amost. (l/min)	4
Amostragem	Dia	Tempo de Amostragem (min)	Resultado (mg/m ³)	Classe ISO 8573-1	
1	24/04/2019	10	≤ 0,1	2	
2		10	≤ 0,1	2	
3		10	≤ 0,1	2	

2 – Concentração de Vapores de Águas (H ₂ O)				Objectivo: Determinação da concentração de H ₂ O no ar comprimido	
Pressão Amostragem (bar)	3		Caudal Amostragem (l/min)	4	
Amostragem	Dia	Tempo de Amostra (min)	Resultado (mg/m ³)	DP à Pressão na Linha (Cº)	Classe ISO 8573-1
1	24/04/2019	2,5	1500	-0,2	4
2		2,5	1500	-0,2	4
3		2,5	1500	-0,2	4

* 1mg/m³ H₂O= 1,33ppm H₂O (20ºC,1013hPa)

3 – Contagem de Partículas				Objectivo: Medição de partículas de forma a determinar a classe.	
Amostragem	Dia	Número de Partículas / m ³			Classe ISO 8573-1
		0,5 µm	0,5<d≤1,0µm	1,0<d≤5,0µm	
1	24/04/2019	79020	5400	3140	4

Ponto AC	
Localização	Vulcanização
Ar Comprimido	---

1 – Concentração de Óleos Total				Objectivo: Determinação da concentração de Óleos total no ar comprimido	
Tipo de Óleo	Isento	Valor de referência avaliada (mg/m ³)		≤ 0,1	
Limite de detecção (µg)	4	Press. Amost.(bar)	3	Caudal Amost. (l/min)	4
Amostragem	Dia	Tempo de Amostragem (min)	Resultado (mg/m ³)	Classe ISO 8573-1	
1	24/04/2019	10	≤ 0,1	2	
2		10	≤ 0,1	2	
3		10	≤ 0,1	2	

2 – Concentração de Vapores de Águas (H ₂ O)				Objectivo: Determinação da concentração de H ₂ O no ar comprimido	
Pressão Amostragem (bar)	3		Caudal Amostragem (l/min)	4	
Amostragem	Dia	Tempo de Amostra (min)	Resultado (mg/m ³)	DP à Pressão na Linha (Cº)	Classe ISO 8573-1
1	24/04/2019	2,5	880	-6,5	4
2		2,5	880	-6,5	4
3		2,5	880	-6,5	4

* 1mg/m³ H₂O= 1,33ppm H₂O (20ºC,1013hPa)

3 – Contagem de Partículas				Objectivo: Medição de partículas de forma a determinar a classe.	
Amostragem	Dia	Número de Partículas / m ³			Classe ISO 8573-1
		0,5 µm	0,5<d≤1,0µm	1,0<d≤5,0µm	
1	24/04/2019	13701450	124670	810	4

Ponto AC	
Localização	Construção
Ar Comprimido	---

1 – Concentração de Óleos Total				Objectivo: Determinação da concentração de Óleos total no ar comprimido	
Tipo de Óleo	Isento	Valor de referência avaliada (mg/m ³)		≤ 0,1	
Limite de detecção (µg)	4	Press. Amost.(bar)	3	Caudal Amost. (l/min)	4
Amostragem	Dia	Tempo de Amostragem (min)	Resultado (mg/m ³)	Classe ISO 8573-1	
1	24/04/2019	10	≤ 0,1	2	
2		10	≤ 0,1	2	
3		10	≤ 0,1	2	

2 – Concentração de Vapores de Águas (H ₂ O)				Objectivo: Determinação da concentração de H ₂ O no ar comprimido	
Pressão Amostragem (bar)	3		Caudal Amostragem (l/min)	4	
Amostragem	Dia	Tempo de Amostra (min)	Resultado (mg/m ³)	DP à Pressão na Linha (Cº)	Classe ISO 8573-1
1	24/04/2019	2,5	880	-6,5	4
2		2,5	880	-6,5	4
3		2,5	880	-6,5	4

* 1mg/m³ H₂O= 1,33ppm H₂O (20ºC,1013hPa)

3 – Contagem de Partículas				Objectivo: Medição de partículas de forma a determinar a classe.	
Amostragem	Dia	Número de Partículas / m ³			Classe ISO 8573-1
		0,5 µm	0,5<d≤1,0µm	1,0<d≤5,0µm	
1	24/04/2019	1136000	4510	72	3

Equipamento Utilizado nos Ensaios	Referência	Lote	Validade	N.º de Serie
Drager Multitest				6527321
Ampolas de Óleos	6728371	ARJF-1611	jul/20	
Ampolas de CO2	-	-	-	
Ampolas de SO2	-	-	-	
Ampolas de H2S	-	-	-	
Ampolas de NOx	-	-	-	
Ampolas de CO	-	-	-	
Ampolas de H2O	20/a-P 8103061	ARLA-1481	jul/20	
Contador de Partículas				82034

Legenda:

NS - Não solicitado

Observações:

ANEXO I
Talão Impresso das Contagens de Partículas

Talão Impresso

Área Técnico Saída Central 1

Central 1
Final Sample Report

Instrument ID: TRADELABOR
Serial Number: 82034
Calibrated: 20/03/2019
Location: Continental
24/04/2019 14:26:41#1
Sample Status: Valid
Particle Data
Raw Counts (N)

μ	Δ	Σ
0.5	820057	820041
1.0	13435	13584
2.0	145	145
5.0	0	0
10.0	0	0
25.0	1	1

00:01:00 0.104295 cm/m

Área Técnica Saída Central 2

Central 2
Final Sample Report

Instrument ID: TRADELABOR
Serial Number: 82034
Calibrated: 20/03/2019
Location: Continental
24/04/2019 13:41:57#1
Sample Status: Valid
Particle Data
Raw Counts (N)

μ	Δ	Σ
0.5	7902	8758
1.0	640	856
2.0	305	315
5.0	9	11
10.0	1	2
25.0	1	1

00:01:00 0.103713 cm/m

Vulcanização

Vulcanização
Final Sample Report

Instrument ID: TRADELABOR
Serial Number: 82034
Calibrated: 20/03/2019
Location: Continental
24/04/2019 14:20:41#1
Sample Status: Valid
Particle Data
Raw Counts (N)

μ	Δ	Σ
0.5	1370145	1382693
1.0	12467	12546
2.0	81	81
5.0	0	0
10.0	0	0
25.0	0	0

00:01:00 0.099475 cm/m

Construção

Construção
Final Sample Report

Instrument ID: TRADELABOR
Serial Number: 82034
Calibrated: 20/03/2019
Location: Continental
24/04/2019 14:08:10#1
Sample Status: Valid
Particle Data
Raw Counts (N)

μ	Δ	Σ
0.5	113600	114055
1.0	451	459
2.0	0	0
5.0	1	2
10.0	1	1
25.0	0	0

00:01:00 0.099876 cm/m

ANEXO II
Certificados de Calibração do Equipamento Utilizado

V8A
From in w/ P...
26/3/2015



0829

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Calibration laboratory

Kalibrierlaboratorium

Calibration Certificate No: RMA UK 7095

ISO 17025:2005

Kalibrierschein:

Object <i>Gegenstand</i>	PMS Aerosol particle counter
Manufacture <i>Hersteller</i>	Particle Measuring Systems Inc
Model <i>Model</i>	Lasair III 5100
Serial number <i>Seriennummer</i>	82034
Customer inventory No. <i>Kd.Inventar-Nr</i>	CP-08
Customer Details <i>Auftraggeber</i>	TRADELABOR
Customer Address <i>Kundenadresse</i>	Sao Joao da Talha 2695-727 Portugal
Customer order No. <i>Kd.-Auftragsnummer</i>	-
Number of pages of the certificate <i>Anzahl der Seiten des Kalibrierscheins</i>	3
Date of calibration <i>Datum der Kalibrierung</i>	20. March 2019

PMT (GB) Ltd is accredited in accordance with the international standard ISO 17025:2005. The calibration of all test equipment is in accordance with ISO17025:2005 and are traceable to the SI System of units and/or to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national metrology institutes. The instrument on this certificate has been calibrated in accordance with the contract or order agreed. The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2, providing a coverage probability of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.

Das Kalibrierlabor der PMT (GB) Ltd ist - in Übereinstimmung mit dem internationalen Standard ISO 17025:2005 - akkreditiert. Alle aufgelisteten Prüfmittel sind in Übereinstimmung mit der ISO 17025:2005 und rückführbar auf das Einheitensystem SI und /oder auf Maßeinheiten des National Physical Laboratory oder andere registrierte nationale meteorologische Institute. Das im Kalibrierschein genannte Instrument wurde gemäß den Vorgaben eines vereinbarten Wartungsvertrages oder gemäß den Vorgaben in einer Bestellung des Auftraggebers kalibriert. Die im Kalibrierschein aufgeführte Messunsicherheit basiert auf einer Standardunsicherheit multipliziert mit einem Erweiterungsfaktor k = 2. Dies entspricht einer Abdeckungswahrscheinlichkeit von ungefähr 95%. Die Auswertung der Messunsicherheit wurde in Übereinstimmung mit den Anforderungen der UKAS durchgeführt.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.

Calibrated by
Bearbeiter


Ian Norman

Date
Datum 20 MAR 2019

Authorised Signatory
Zeichnungsberechtigter


Pete Brown

V & A
PMT Malvern
26/3/2019

Object
Kalibriergegenstand

PMS Aerosol particle counter



0829

Calibration Certificate
Kalibrierschein

RMA UK 7095

Model
Model

Lasair III 5100

Serial number
Seriennummer

82034

Calibration standard
Kalibriernorm

ISO 21501-4:2018#

Calibration procedure
Kalibrierverfahren

2793D - Lasair III calibration

Place of Calibration
Ort der Kalibrierung

PMT Malvern

Calibration standards used
Verwendete Kalibrierstandards

Actual size / Größe	Range / Genauigkeit	Deviation / Stand.Abw.	Lot. No. / Lot. Nr.	Cert. date / Zert. Datum	Exp. date / Ablaufdatum
0.508um	+/-4nm	8.5nm	168223	09/2015	04/2019
0.994um	+/- 0.0075um	0.010um	193291	01/2018	01/2021
2.02um	+/-0.007um	0.021um	196617	08/2017	04/2021
5.027um	+/- 0.023um	0.05um	194633	08/2017	02/2021

Test equipments used
Verwendete Prüfmittel

Model / Model	Serial number / Seriennummer	Cal. date / Kal. Datum	Next cal. / nächste Kal.	Certification no. / Kalibrierschein-Nr.
Lasair II 110 URI	67731	12/2018	12/2019	235-10755
TSI Mass Flowmeter	40460710001	11/2018	11/2019	U95474-18

U&A
From record
26/3/2015

Object
Kalibriergegenstand

PMS Aerosol particle counter



0829

Calibration Certificate
Kalibrierschein

RMA UK 7095

Model
Model

Lasair III 5100

Serial number
Seriennummer

82034

Threshold Information:

(The thresholds determine which channel the particle gets counted in depending on the amplitude of the signal)

Channel	Particle Size	As Found Threshold Setting	As Left Threshold Setting
1	0.5µm	2023	1984
2	1.0µm	6851	6816
3	2.0µm	0967	0943
4	5.0µm	4564	4576
5	10.0µm	1114	1137
6	25.0µm	5313	5442

Flow Test:

Flow (Lpm)	As Found	Spec	As Left	Uncertainty of Calibration (+/-% of reading)
	101.2lpm	+/-5%	101.2lpm	2.0

As Found Results:

(CE is the counting efficiency & VV is the viewing volume. This is the ratio of the measured result of a particle counter to that of a reference instrument using the same sample)

Test	Particle Size	Conditions	Specification	Result	Uncertainty of Calibration (+/-% of reading)
CE%	0.5µm	Ratio UUT/ABS	30% to 70%	50.0%	8.9
Sizing	0.5µm	Sizing Error	+/-10%	0.3%	3.0
VV%	1.0µm	Ratio UUT/ABS	90% to 110%	105.1%	8.9
Sizing	1.0µm	Sizing Error	+/-10%	-0.8%	3.0
Sizing	2.0µm	Sizing Error	+/-10%	2.9%	2.7
Sizing	5.0µm	Sizing Error	+/-10%	-1.5%	3.2
Sizing	10.0µm	Sizing Error	+/-10%	-1.6%	Extrapolated*
Sizing	25.0µm	Sizing Error	+/-10%	-1.5%	Extrapolated*
Resolution*	1.0µm		≤15%	9.0%	3.0

As Left Results:

Test	Particle Size	Conditions	Specification	Results	Uncertainty of Calibration (+/-% of reading)
CE%	0.5µm	Ratio: UUT/ABS	30% to 70%	50.4%	8.9
VV%	1.0µm	Ratio: UUT/ABS	90% to 110%	105.2%	8.9
Sizing	0.5µm	Sizing Error	-10 to +10 %	-0.69%	3.0
Sizing	1.0µm	Sizing Error	-10 to +10 %	-0.42%	3.0
Sizing	2.0µm	Sizing Error	-10 to +10 %	-0.57%	2.7
Sizing	5.0µm	Sizing Error	-10 to +10 %	-0.69%	3.2
Sizing	10.0µm	Sizing Error	-10 to +10 %	-0.76%	Extrapolated*
Sizing	25.0µm	Sizing Error	-10 to +10 %	-0.76%	Extrapolated*
Resolution*	1.0µm		≤15%	9.1%	3.0

Zero Count Test:

Minutes Ran	Counts	Pass / Fail
25	0	Pass

*Not included in scope of accreditation, has been included for completeness.

#Excluding 6.5, 6.7 & 6.8 which are tested and verified during design and development

**Werkzeugnis
Test report
Relevé de contrôle**

Dräger

Seite 1 von 1

Handwritten:
Auftrag
Seite
07/10/2017

gemäß / according to / selon : **DIN EN 10204-2.2**

Auftraggeber Purchaser Demandeur	n/a
Auftragsnummer Purchase Order No. No. d'ordre	n/a
Dräger Order Nr. Dräger Order No. N° de commande	60725824

Menge Quantity Quantité	Benennung / Fabrikations-Nr. Description / fabrication-No. Description / N° du lot	Sach-Nr. Part-No Code article
30	ME Multitest Int. / ARKL-9001 bis / to ARKL-9030	6527321

Merkmal Characteristic Caractéristique	Soll Specified Specifications	Ist Actual Réelle
Flowmessung mit Druckluft gem. DIN EN 12021 bei Prüfdruck 2,8 bis 3,2 bar / flow measurement with compressed air acc. to DIN EN 12021 at test pressure 2,8 to 3,2 bar		
Oil	3,8 bis / to 4,4 l/min	erfüllt / passed
H ₂ O	3,8 bis / to 4,4 l/min	erfüllt / passed
CO ₂	0,19 bis / to 0,225 l/min	erfüllt / passed
SO ₂	0,19 bis / to 0,225 l/min	erfüllt / passed
H ₂ S	0,19 bis / to 0,225 l/min	erfüllt / passed
NO _x	0,19 bis / to 0,225 l/min	erfüllt / passed
CO	0,19 bis / to 0,225 l/min	erfüllt / passed

Wir bestätigen, dass die genannten Liefergegenstände geprüft wurden und, wenn nichts anderes vermerkt, den Spezifikationen, Zeichnungen und dem diesbezüglichen Auftrag entsprechen.
This is to certify that the supplies listed hereon have been tested and, unless otherwise stated, conform to the specification, drawings and relevant order.
Nous certifions par la présente que les articles fournis cités ont été contrôlés et sont conformes, sauf indication contraire, aux spécifications, plans et commande relative.

Datum
Date
Date 17.10.2017

Dräger Safety AG & Co. KGaA
Name / Unterschrift:
name / signature:
nom / signature :

Handwritten signature:
7/482
01

Qualitätsverantwortliche/r
Quality responsible person
responsable qualité

C. Wruck

Dräger Safety AG & Co. KGaA
Revalsstraße 1
23560 Lübeck, Deutschland
Tel. +49 451 882-0
Fax +49 451 882-2080
info@draeger.com
www.draeger.com
UID-Nr. DE812128834
WEEE-Reg.-Nr. DE13636930

Bankverbindungen:
Commerzbank AG, Lübeck
IBAN DE29 2304 0022 0014 6803 00
BIC COBADEFF230
Deutsche Bank AG, Lübeck
IBAN DE75 2307 0710 0030 2109 00
BIC DEUTDEHH222

Sitz der Gesellschaft: Lübeck
Handelsregister:
Amtsgericht Lübeck HRB 4097 HL
Komplementär:
Dräger Safety Verwaltungs AG
Sitz der Gesellschaft: Lübeck
Handelsregister:
Amtsgericht Lübeck HRB 5036 HL

Vorsitzender des Aufsichtsrats der
Dräger Safety AG & Co. KGaA und
Dräger Safety Verwaltungs AG:
Professor Dr. Nikolaus Schweickart

Vorstand:
Stefan Dräger (Vorsitzender)
Rainer Klug
Gert-Hartwig Lescow
Dr. Reiner Piske
Anton Schrofner

9.11 Anexo 11 – Estimativa orçamental dos compressores isentos de óleo e respetivo *datasheet*

Preço

Número do produto	Descrição	Quantidade	Preço unitário (EUR)	Preço total (EUR)
9848966640	ER900 400V 50 IEC CE TT TN	1	42.850,00	42.850,00
Subtotal (sem IVA) EUR				42.850,00

Condições de pagamento e entrega

Cotação válida até:	09/08/2019
Condições de pagamento:	A combinar com V. Ex.as
Incoterms e localização:	DAP - Delivery at Place
Observações	O valor apresentado é valido considerando a aquisição do ZR500VSD ER; ZR355 ER e de dois secadores FD3000 VSD W.

Atlas Copco Portugal - Divisão de Compressores

Soc. Atlas Copco de Portugal,
 Unip.,
 Lda Sede: Lagoas Park,
 Edifício 15 - Piso 0
 2740-265 Porto Salvo

Tel: (+351) 226 199 210
 Fax: (+351) 226 175 433
 Email:
 info.portugal@pt.atlascopco.com
 Web: www.atlascopco.com

VAT Reg. No: PT 500 254 265
 Company Reg. Office:
 C.R.C. de Cascais

Sucursal - Porto:
 Rua Eng.º Ferreira
 Dias, 1101
 4100-247 Porto



ER 900 circuito fechado

Condições de referência

- Velocidade da bomba	%	100
- Potência de arrefecimento	kW	900
- Temperatura da água na saída (retorno) do compressor	°C	90
- Temperatura da água na entrada (admissão) do compressor	°C	40
- Caudal do circuito de arrefecimento	m ³ /h	15,6
- Temperatura de entrada no permutador secundário	°C	35
- Diferencial da temperatura permutador secundário	°C	15
- Caudal do arrefecedor secundário	m ³ /h	52

Limitações

- Mínima temperatura ambiente	°C	1
- Máxima temperatura ambiente	°C	40
- Altitude máxima	m	1000
- Mínima temperatura da água na admissão do circuito secundário.	°C	1
- Máxima temperatura da água na admissão do circuito secundário.	°C	35
- Máximo diferencial de temperatura no circuito secundário.	°C	15
- Máxima temperatura da água na saída (retorno) do compressor	°C	90
- Máxima temperatura da água na entrada (admissão) do compressor	°C	40
- Quantidade máxima de glicol no circuito de arrefecimento	%	10
- Mínima temperatura no circuito de arrefecimento na admissão aos compressores	°C	1

Características mecânicas: Pressão à Saída da Bomba (m)

- Caudal de arrefecimento ao compressor 1,5m	m ³ /h	61
- Caudal de arrefecimento ao compressor 2,8m	m ³ /h	60,6
- Caudal de arrefecimento ao compressor 4,7m	m ³ /h	60
- Caudal de arrefecimento ao compressor 5,1m	m ³ /h	59,8
- Caudal de arrefecimento ao compressor 7,3m	m ³ /h	59,2
- Caudal de arrefecimento ao compressor 10m	m ³ /h	57,9
- Caudal de arrefecimento ao compressor 15m	m ³ /h	54,3

Características adicionais

- Peso da unidade completa	Kg	1260
- Dimensões (Comp x Larg x Alt)	mm	1450 x 1500 x 1500
- Capacidade de volume de água	L	106

Preço

Número do produto	Descrição	Quantidade	Preço unitário (EUR)	Preço total (EUR)
9848966591	Comp. ZR355 7,5 3kV IP55 IEC CE	1	186.745,00	186.745,00
9848067171	PT100 Windings (ZR355)	1	1.475,00	1.475,00
9848067171	SPM System - Monit de vibrações (ZR355)	1	1.610,00	1.610,00
9848067171	Energy Recover (ZR355)	1	5.120,00	5.120,00
8095023175	Witnessed Performance Test (ZR355)	1	3.860,00	3.860,00
9848066580	Comp. ZR500VSD 8,6 400 IEC CE	1	291.725,00	291.725,00
9848067171	PT1000 Enrolam e Rolamentos (ZR500VSD)	1	2.800,00	2.800,00
9848067171	Extra filtro admissão ar variador velocidade (ZR500VSD)	1	1.830,00	1.830,00
9848067171	Energy Recover (ZR500VSD)	1	5.440,00	5.440,00
8095023175	Witnessed Performance Test (ZR500VSD)	1	5.815,00	5.815,00

Condições de pagamento e entrega

Cotação válida até:	26/05/2019
Condições de pagamento:	A combinar com V. Ex.as
Incoterms e localização:	DAP - Delivery at Place – Sobre camião – Portugal Continental.
Prazo de entrega	ZR355 – 14 a 16 semanas após a V. encomenda ZR500VSD – 18 a 20 semanas após a V. encomenda.

Atlas Copco Portugal - Divisão de Compressores

Soc. Atlas Copco de Portugal, Unip.,
 Lda Sede: Lagoas Park,
 Edifício 15 - Piso 0
 2740-265 Porto Salvo

Tel: (+351) 226 199 210
 Fax: (+351) 226 175 433
 Email:
 info.portugal@pt.atlascopco.com
 Web: www.atlascopco.com

VAT Reg. No: PT 500 254 265 Sucursal - Porto:
 Company Reg. Office: Rua Eng.º Ferreira
 C.R.C. de Cascais Dias, 1101
 4100-247 Porto



Technical data: ZR 355-7.5 ER

Product definition	
Model	ZR 355
Pressure variant	7.5 bar
Integrated dryer	
Frequency	50 Hz
Energy recovery	Yes

Reference conditions	
Absolute inlet pressure	1 bar(a)
Relative humidity	0 %
Air inlet temperature	20 °C
Cooling water inlet temperature	20 °C
Cooling water temperature rise	50 °C
Effective working pressure	7 bar(g)

Performance data*1	
Effective working pressure	7 bar(g)
– Free air delivery	925.3 l/s
– Total electrical power input	339.6 kW
– Total specific energy requirements (SER)	367 J/l

Unit data*4	
Compressed air temperature at outlet	44 °C
Mean sound pressure level*2	77 dB(A)
Total electrical power input at unload	66.1 kW
Cooling water flow	1.4 l/s
Cooling water pressure drop	222.5 mbar
Cooling air flow motor	2 m³/s
Oil capacity	85 l
Length	3700 mm
Width	2120 mm
Height	2400 mm
Weight (Mass)	7750 kg

Limitations	
Maximum effective working pressure	7.5 bar(g)
Minimum effective working pressure	4 bar(g)
Maximum ambient temperature	40 °C
Minimum ambient temperature	0 °C
Maximum cooling water outlet temperature*3	90 °C
Maximum cooling water inlet temperature*3	40 °C
Minimum cooling water inlet temperature*3	0 °C
Maximum altitude (above sea level)	1000 m

Installation connections	
Compressed air outlet	DN100-PN16
Cooling water (inlet/outlet)	DN65-PN16 => DN40-PN16
Condensate drain connections	G 1/2"
Electrical cable entry size	M63

Main drive motor	
Motor manufacturer	SIEMENS
Motor nominal power	355 kW
Motor service factor	1.1
Motor full load efficiency	95.9 %
Motor protection class	IP 55

Electrical data	
Supply voltage	3000 V
Supply frequency	50 Hz
Package current*5	86.4 A
Starter type	Without
Starting current DOL	450.5 A
Starting current YD	150.2 A

Approvals	
Electrical approval	IEC
Pressure vessel approval	CE

Notes

*1 The FAD figures quoted correspond to 'Actual Volume Flow Rate' in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-5 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-4 % for FAD > 250 l/s (530 cfm).

FAD (Free Air Delivery) is measured at the above stated reference conditions.

The FAD figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units). Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV

*1 The SER figures quoted are in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-6 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-5 % for FAD > 250 l/s (530 cfm).

The SER figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units). Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV

*2 A-weighted emission sound pressure level at the work station (LpWSAd).

Measured according to ISO 2151: 2008 using ISO 9614-2 (sound intensity scanning method).

The added correction factor (+/- 3 dB(A)) is the total uncertainty value (KpAd) conform with the test code.

*3 For closed cooling water circuit

*4 Unit data is valid at reference conditions

*5 Package current is the current a compressor uses

- at reference ambient conditions
- at 100 % load
- at max pressure
- at nominal voltage
- right before service interval (including fouled filters, etc).

The information in this document is subject to change without prior notice.

Publication date: April 26, 2019

Technical data: ZR 500 VSD-8.6 ER

Product definition	
Model	ZR 500 VSD
Pressure variant	8.6 bar
Integrated dryer	
Frequency	50 Hz
Energy recovery	Yes

Reference conditions	
Absolute inlet pressure	1 bar(a)
Relative humidity	0 %
Air inlet temperature	20 °C
Cooling water inlet temperature	20 °C
Cooling water temperature rise	50 °C
Effective working pressure	8.6 bar(g)
Motor shaft speed(rpm)	1500 rpm

Performance data*1	
Effective working pressure	7 bar(g)
Free air delivery (at maximum volume flow rate)	1305.6 l/s
- Total electrical power input	501.2 kW
- Total specific energy requirements (SER)	383.9 J/l
Free air delivery (at 75% of volume flow range)	1070.7 l/s
- Total electrical power input	397.4 kW
- Total specific energy requirements (SER)	371.2 J/l
Free air delivery (at 50% of volume flow range)	835.7 l/s
- Total electrical power input	304.3 kW
- Total specific energy requirements (SER)	364.1 J/l
Free air delivery (at 25% of volume flow range)	600.7 l/s
- Total electrical power input	218.3 kW
- Total specific energy requirements (SER)	363.4 J/l
Free air delivery (at minimum volume flow rate)	365.8 l/s
- Total electrical power input	137.8 kW
- Total specific energy requirements (SER)	376.9 J/l

Unit data ^{*4}	
Compressed air temperature at outlet	48 °C
Mean sound pressure level ^{*2}	77 dB(A)
Total electrical power input at unload	35.5 kW
Cooling water flow	1.4 l/s
Cooling water pressure drop	224.7 mbar
Cooling air flow motor	1.4 m ³ /s
Cooling air flow frequency converter	1.56 m ³ /s
Oil capacity	85 l
Length	4060 mm
Width	2120 mm
Height	2400 mm
Weight (Mass)	8540 kg

Limitations	
Maximum effective working pressure	8.6 bar(g)
Minimum effective working pressure	3.5 bar(g)
Maximum ambient temperature	40 °C
Minimum ambient temperature	0 °C
Maximum cooling water outlet temperature ^{*3}	85 °C
Maximum cooling water inlet temperature ^{*3}	40 °C
Minimum cooling water inlet temperature ^{*3}	0 °C
Maximum altitude (above sea level)	1000 m

Installation connections	
Compressed air outlet	DN100-PN16
Cooling water (inlet/outlet)	DN65-PN16 => DN40-PN16
Condensate drain connections	G 1/2"
Electrical cable entry size	M63

Main drive motor	
Motor manufacturer	SIEMENS
Motor nominal power	570 kW
Motor service factor	1
Motor full load efficiency	96.2 %
Motor protection class	IP 55

Frequency Converter	
Converter manufacturer	SIEMENS SINAMICS

Electrical data	
Supply voltage	400 V
Supply frequency	50 Hz
Package current* ⁵	844.6 A
Electrical network	TT or TN network

Approvals	
Electrical approval	IEC
Pressure vessel approval	CE

Notes
<p>*1 The FAD figures quoted correspond to 'Actual Volume Flow Rate' in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-5 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-4 % for FAD > 250 l/s (530 cfm). FAD (Free Air Delivery) is measured at the above stated reference conditions. The FAD figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units). Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV</p>
<p>*1 The SER figures quoted are in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-6 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-5 % for FAD > 250 l/s (530 cfm). The SER figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units). Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV</p>
<p>*2 A-weighted emission sound pressure level at the work station (LpWSAd). Measured according to ISO 2151: 2008 using ISO 9614-2 (sound intensity scanning method). The added correction factor (+/- 3 dB(A)) is the total uncertainty value (KpAd) conform with the test code.</p>
<p>*3 For closed cooling water circuit</p>
<p>*4 Unit data is valid at reference conditions</p>
<p>*5 Package current is the current a compressor uses</p>

- at reference ambient conditions
- at 100 % load
- at max pressure
- at nominal voltage
- right before service interval (including fouled filters, etc).

The information in this document is subject to change without prior notice.

Publication date: April 26, 2019

9.12 Anexo 12 – Estimativa orçamental dos compressores lubrificados a óleo e respetivo *datasheet*

Preço

Número do produto	Descrição	Quantidade	Preço unitário (EUR)	Desconto %	Preço total (EUR)
9848966606	GA250VSD W SPM TC ER 400V 50Hz IEC CE	1	93.960,00		93.960,00
8153159013	ER275-400V-50-DIN BCKUp STbyP	1	25.000,00		32.995,00
Opção					
9848966603	GA355 W 7,5 TC SPM ER 400V 50Hz IEC CE	1	110.650,00		110.650,00
9848966640	ER425 400 50 DIN BCKUp STDBy	1	29.750,00		46.000,00

Condições de pagamento e entrega

Cotação válida até:	19/06/2019
Condições de pagamento:	60 Days, Net.
Incoterms e localização:	DAP - Delivery at Place – Sobre camião – Portugal Continental
Prazo de entrega estimado:	15 a 16 semanas após a V. encomenda
Observações:	A mais valia para o compressor GA355 vir com motor de 3kV IP55 é de 20.950,00€

Atlas Copco Portugal - Divisão de Compressores

Soc. Atlas Copco de Portugal, Unip.,
 Lda Sede: Lagoas Park,
 Edifício 15 - Piso 0
 2740-265 Porto Salvo
 Tel: (+351) 226 199 210
 Fax: (+351) 226 175 433
 Email:
 info.portugal@pt.atlascopco.com
 Web: www.atlascopco.com

VAT Reg. No: PT 500 254 265
 Company Reg. Office:
 C.R.C. de Cascais
 Sucursal - Porto:
 Rua Eng.º Ferreira
 Dias, 1101
 4100-247 Porto



Technical data: GA 355 W-7.5 ER

Product definition	
Model	GA 355
Pressure variant	7.5 bar
Cooling	Water cooled
Integrated dryer	
Frequency	50 Hz

Reference conditions	
Absolute inlet pressure	1 bar(a)
Relative humidity	0 %
Air inlet temperature	20 °C
Cooling water inlet temperature	20 °C
Cooling water temperature rise	10 °C

Performance data*1	
Effective working pressure	7 bar(g)
– Free air delivery	1047.5 l/s
– Total electrical power input	352.2 kW
– Total specific energy requirements (SER)	336.3 J/l

Unit data*4	
Compressed air temperature at outlet	23 °C
Mean sound pressure level*2	73 dB(A)
Typical oil content of compressed air	3 mg/m ³
Total electrical power input at unload	72 kW
Cooling water flow	8.1 l/s
Cooling water pressure drop	450 mbar
Cooling air flow motor	1.3 m ³ /s
Oil capacity	
Length	4173 mm
Width	2120 mm
Height	2500 mm
Weight (Mass)	10193 kg

Limitations	
Maximum effective working pressure	7.5 bar(g)
Minimum effective working pressure	4.5 bar(g)
Maximum ambient temperature	40 °C
Minimum ambient temperature	0 °C
Maximum cooling water outlet temperature* ³	60 °C
Maximum cooling water inlet temperature* ³	40 °C
Minimum cooling water inlet temperature * ³	0 °C
Maximum altitude (above sea level)	1000 m

Installation connections	
Compressed air outlet	DN125 PN16
Cooling water (inlet/outlet)	G 2 1/2"
Condensate drain connections	G 1/2"
Electrical cable entry size	M 63 (4x)

Main drive motor	
Motor manufacturer	SIEMENS
Motor nominal power	355 kW
Motor service factor	1.1
Motor full load efficiency	95.9 %
Motor protection class	IP 55

Electrical data	
Supply voltage	3000 V
Supply frequency	50 Hz
Package current* ⁵	89.1 A
Starter type	DOL (Direct On Line)
Starting current DOL	450.5 A
Starting current YD	
Electrical network	TT or TN network

Approvals	
Electrical approval	IEC
Pressure vessel approval	CE

Notes

*1 The FAD figures quoted correspond to 'Actual Volume Flow Rate' in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-5 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/- 4 % for FAD > 250 l/s (530 cfm).

FAD (Free Air Delivery) is measured at the above stated reference conditions.

The FAD figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units).

Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV

*1 The SER figures quoted are in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-6 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-5 % for FAD > 250 l/s (530 cfm).

The SER figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units).

Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV

*2 A-weighted emission sound pressure level at the work station (LpWSAd).

Measured according to ISO 2151: 2008 using ISO 9614-2 (sound intensity scanning method).

The added correction factor (+/- 3 dB(A)) is the total uncertainty value (KpAd) conform with the test code.

*3 For closed cooling water circuit

*4 Unit data is valid at reference conditions

*5 Package current is the current a compressor uses

- at reference ambient conditions
- at 100 % load
- at max pressure
- at nominal voltage
- right before service interval (including fouled filters, etc).

The information in this document is subject to change without prior notice.

Publication date: May 20, 2019

Technical data: GA 250 VSD W-8.5 ER

Product definition	
Model	GA 250 VSD
Pressure variant	8.5 bar
Cooling	Water cooled
Integrated dryer	Pack
Frequency	50 Hz

Reference conditions	
Absolute inlet pressure	1 bar(a)
Relative humidity	0 %
Air inlet temperature	20 °C
Cooling water inlet temperature	20 °C
Cooling water temperature rise	15 °C

Performance data* ¹	
Effective working pressure	7 bar(g)
Free air delivery (at maximum volume flow rate)	875.7 l/s
- Total electrical power input	315.9 kW
- Total specific energy requirements (SER)	360.8 J/l
Free air delivery (at 75% of volume flow range)	708.3 l/s
- Total electrical power input	246.9 kW
- Total specific energy requirements (SER)	348.6 J/l
Free air delivery (at 50% of volume flow range)	540.8 l/s
- Total electrical power input	187.7 kW
- Total specific energy requirements (SER)	347.1 J/l
Free air delivery (at 25% of volume flow range)	373.3 l/s
- Total electrical power input	133.9 kW
- Total specific energy requirements (SER)	358.8 J/l
Free air delivery (at minimum volume flow rate)	205.9 l/s
- Total electrical power input	83.1 kW
- Total specific energy requirements (SER)	403.6 J/l

Unit data* ³	
Compressed air temperature at outlet	32 °C
Mean sound pressure level* ²	74 dB(A)

Typical oil content of compressed air	3 mg/m ³
Cooling water flow	4.6 l/s
Cooling water pressure drop	513 mbar
Cooling air flow compressor	
Cooling air flow motor	0.9 m ³ /s
Cooling air flow frequency converter	
Oil capacity	
Length	3700 mm
Width	2000 mm
Height	2300 mm
Weight (Mass)	5466 kg

Limitations	
Maximum effective working pressure	8.5 bar(g)
Minimum effective working pressure	5 bar(g)
Maximum ambient temperature	46 °C
Minimum ambient temperature	0 °C
Maximum cooling water outlet temperature* ³	60 °C
Maximum cooling water inlet temperature* ³	40 °C
Minimum cooling water inlet temperature * ³	0 °C
Maximum altitude (above sea level)	1000 m

Installation connections	
Compressed air outlet	DN100 PN16
Cooling water (inlet/outlet)	G 1 1/2"
Condensate drain connections	G 1/2"
Electrical cable entry size	M 63 (4x)

Main drive motor	
Motor manufacturer	Siemens
Motor nominal power	250 kW
Motor service factor	1.25
Motor full load efficiency	96.4 %
Motor protection class	IP54

Frequency Converter	
Converter manufacturer	

Electrical data	
Supply voltage	400 V
Supply frequency	50 Hz

Package current**4	523.4 A
Electrical network	TT or TN network

Approvals	
Electrical approval	IEC
Pressure vessel approval	CE

Notes	
<p>*1 The FAD figures quoted correspond to 'Actual Volume Flow Rate' in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-5 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-4 % for FAD > 250 l/s (530 cfm). FAD (Free Air Delivery) is measured at the above stated reference conditions. The FAD figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units). Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV</p>	
<p>*1 The SER figures quoted are in accordance with ISO 1217 Ed. 4 (2009), guaranteed with a tolerance of +/-6 % for FAD < 250 l/s (530 cfm) or +/-5 % for FAD > 250 l/s (530 cfm). The SER figures are valid for supply voltage 400V (for 50Hz-units) or 460V (for 60Hz-units). Data may differ 0,5% maximum at other supply voltages < 1kV and 3,5% maximum at supply voltages > 1kV</p>	
<p>*2 A-weighted emission sound pressure level at the work station (LpWSAd). Measured according to ISO 2151: 2008 using ISO 9614-2 (sound intensity scanning method). The added correction factor (+/- 3 dB(A)) is the total uncertainty value (KpAd) conform with the test code.</p>	
<p>*3 Unit data is valid at reference conditions</p>	
<p>*4 Package current is the current a compressor uses - at reference ambient conditions - at 100 % load - at max pressure - at nominal voltage - right before service interval (including fouled filters, etc).</p>	
<p>The information in this document is subject to change without prior notice.</p>	

Publication date: May 17, 2019

9.13 Anexo 13 – Estimativa orçamental e *datasheet* do secador de ar

Preço

Número do produto	Descrição	Quantidade	Preço unitário (EUR)	Preço total (EUR)
9848966634	Refrig air dryer FD3000VSD W 400 50	2	60.200,00	120.400,00
Subtotal (sem IVA) EUR				120.400,00

Condições de pagamento e entrega

Cotação válida até:	04/07/2019
Condições de pagamento:	60 Days, Net.
Incoterms e localização:	DAP - Delivery at Place – Sobre camião Portugal Continental
Prazo de entrega estimado	11 a 12 semanas após a V. encomenda
Observações	Equipamento com accionamento de velocidade variável.

Atlas Copco Portugal - Divisão de Compressores

Soc. Atlas Copco de Portugal, Unip.,
 Lda Sede: Lagoas Park,
 Edifício 15 - Piso 0
 2740-265 Porto Salvo

Tel: (+351) 226 199 210
 Fax: (+351) 226 175 433
 Email:
 info.portugal@pt.atlascopco.com
 Web: www.atlascopco.com

VAT Reg. No: PT 500 254 265
 Company Reg. Office:
 C.R.C. de Cascais

Sucursal - Porto:
 Rua Eng.º Ferreira
 Dias, 1101
 4100-247 Porto



Technical data: FD3000VSD+

Product definition	
Model	FD3000+
Cooling	Water cooled
Frequency	50 Hz
Nominal ambient temperature version	46 °C

Reference conditions	
Compressed air effective inlet pressure	7 bar(g)
Ambient air temperature	25 °C
Cooling water temperature at inlet	25 °C
Compressed air inlet temperature	35 °C
Inlet relative humidity of compressed air	100 %
Inlet volumetric flow rate*1*2	3000 l/s

Limitations	
Maximum compressed air inlet pressure	14 bar(g)
Maximum ambient temperature (hard electrical limit)	46 °C
Minimum ambient temperature	0 °C
Maximum air inlet temperature (hard limit)	70 °C

Performance data*3	
Pressure dew-point	3 °C
Total electrical power input: 100% - 75% - 50% - 25% (kW)	10,6 – 7,5 – 3,9 – 3,9
Cooling water flow 100% - 75% - 50% - 25% (l/s)	4,8 – 4,0 – 3,0 – 2,8
Heat dissipated by cooling medium flow (approx.) (kW)	59,2 – 42,6 – 27,3 – 15,6
Pressure drop across dryer	0.19 bar

Unit data	
Refrigerant type	R410a
Refrigerant amount	16,5 kg
Mean sound pressure level *4	76,2 dB(A)
Length	2502 mm
Height	1736 mm
Width*5	1581 mm
Net mass	1410 kg
GWP refrigerant	2088
Refrigerant amount (CO2 equivalent)	34,452 T

Installation connections	
Inlet / outlet connections	DN200

Notes
*1 Referred to 1 bar(a), 20°C, 100% R.H.
*2 For data at any condition other than reference conditions, consult Atlas Copco
*3 At reference conditions, unless otherwise stated, the inlet conditions are specified at the inlet grating
*4 A-weighted emission sound pressure level at the work station (LpWSAd). Measured according to ISO 2151: 2008 using ISO 9614-2 (sound intensity scanning method). The added correction factor (+/- 3 dB(A)) is the total uncertainty value (KpAd) conform with the test code. Possible noise from discharge line, accessories and/or ancillary equipment is not included
*5 Inlet and outlet flanges are sticking out. For details see dimension drawing

Publication date: June 04, 2019

9.14 Anexo 14 - Mapa de trabalhos e quantidades e estimativa orçamental da proposta de *layout* 1

A proposta para a instalação de dois compressores (ZR500VSD ER e ZR355 ER) um sistema de recuperação de energia ER900 e dois secadores FD3000VSD W é composta com as seguintes ações:

- Retirar os dois compressores e os dois secadores existentes.
- Colocar os dois novos compressores, os dois secadores e o ER900, nos locais mencionados
- Efetuar as tubagem de ligação aos secados em aço carbono DIN2448, os coletores serão DN300 e as ligações aos secadores serão DN200.
- Efetuar um coletor DN200 com duas picagens DN100 para ligação aos novos compressores, tubagem em aço carbono DIN2448. Este coletor será interligado ao coletor existente.
- Efetuar dois coletores DN80 com duas ligações cada coletor para efetuar a ligação das águas do compressor ao equipamento ER900, tubagem em aço carbono DIN2448.
- Efetuar a ligação do equipamento ER900 as duas válvulas existentes DN80, tubagem em aço carbono DIN2448.
- Efetuar linha de purga dos equipamentos novos instalados.
- Aplicação de flanges cegas e Tampões roscados nas linhas que vão ficar desativadas, ar comprimido e água dos compressores existentes.
- As válvulas aplicadas serão borboleta HIE, os Ø300 e Ø200 serão com redutores de volante manual.
- Desligar eletricamente os cabos dos equipamentos existentes e ligação dos cabos dos novos compressores.
- Pintura no interior das tubagens DN200 e DN300

Trabalhos de soldadura:

SOLDADURAS

- Materiais de adição compatíveis com o material base;
- Processos de Soldadura:
 - Soldadura Tungsten Inert Gas para tubagem (TIG)
 - Soldadura com proteção gasosa e fio sólido contínuo (MIG/MAG);
- Qualificação de soldadores conforme as normas EN 287, EN ISO 9606 e ASME IX.
- Qualificação de procedimento de soldadura conforme as normas EN 15614 e ASME IX

Ensaio não destrutivos conforme a seguinte tabela:

Ensaio	Extensão (%)
IV – Inspeção Visual	100%
RX – Raio X	10% nas tubagens DN300 e DN200
UT – Ultra sons	Não aplicável
MT – Partículas magnéticas	Não aplicável

TRATAMENTO SUPERFICIAL

- Decapagem a jato abrasivo a grau S 2½;
- Uma demão de primário a 50 µ;
- Uma demão de intermédio a 50µ;
- Uma demão de acabamento a 80 µ.

INCLUSÕES

- Fornecimento dos materiais inerentes à execução da obra;
- Fornecimento dos consumíveis inerentes à execução dos trabalhos;
- Mão-de-obra necessária à realização dos trabalhos deste orçamento;
- Equipamentos de proteção e segurança de acordo com as normas vigentes;
- Todas as ferramentas e equipamentos necessários à realização dos trabalhos;
- Todos os encargos inerentes aos nossos funcionários;
- Apresentação de um plano de segurança a aprovar pelo cliente antes do início dos trabalhos;
- Cumprimento das normas de segurança de acordo com o plano de obra, sempre com uma boa prática de execução;
- Seguros obrigatórios contra acidentes de trabalho;
- Seguro de responsabilidade civil no valor de 1.500.000,00€;
- Meios de elevação (andaimes, plataforma, etc...)

EXCLUSÕES

- Energia elétrica (220 e 380 V) para alimentação de ferramentas, iluminação e equipamento em obra.
- Água industrial para limpezas, ensaios hidráulicos e outros fins.
- Ar comprimido para alimentação de ferramentas pneumáticas e outros fins.
- Todos os trabalhos de instrumentação e construção civil.
- Todos os trabalhos extraorçamento. 6.6 Área para estaleiro, a combinar por ambas as partes.
- Grua para descarga dos equipamentos.
- Compressor, secador, filtros, purgas e maciço de assentamento.
- Regularização de maciços (aumentos e nivelamentos).
- Técnico de segurança permanente.
- Passagem de esteiras elétricas
- Passagem de cabos elétricos.
- Fornecimento de cabos elétricos.
- Nota de Cálculo, certificação e licenciamento;

Horário de trabalho:

- Dias uteis das 8:00h às 19:00h (com 1h para almoço e duas pausas)

Valor total: 92.435,29 € + I.V.A.

Custo dos meios de descarga dos equipamentos:

- 3.890,00 € + I.V.A.

Processo de Licenciamento pela Directiva PED

- Inclui:
 - Calculo de risco do sistema construído no âmbito deste fornecimento
 - Descrição do sistema
 - Manuais de instruções
 - Livro de peças
 - Diagramas electricos
 - Desenhos de implementação
 - Isométrica *as built*
 - Certificados dos equipamentos
 - Certificados de materiais e de soldadores
 - Certificado da instalação
- Custo:
 - 1.058,00 € + I.V.A.

Os preços dos equipamentos incluem transporte sobre camião até às instalações da Continental (Lousado).

Comissionamento:

- Na nossa oferta é considerado 5 dias uteis para comissionar o total deste sistema (inclui deslocação e mão de obra).

- Fornecimento e montagem de coluna adicional com disjuntor de 1250A para compressor Atlas Copco 500VSD
10.000€

- Fornecimento e montagem de cabos RZ1-K 3x(4x1x240)+G4x240
25.000€

- Remover compressor ZR5-1
Colocação do ZR500 VSD no lugar do ZR5-1, adaptação de tubagem AC DN 100; aumento da base de assentamento
26.000€

- Remover compressor ZR5-3
Colocação do ZR355 no lugar do ZR5-3, adaptação de tubagem;
17.700€

- Colocação do Recuperador de Energia ER900 junto do atual ZR5-3,
Tubagem Refrigeração do compressor DN 50, Tubagem água de Caldeiras DN 50, Tubagem água da Torres de Arrefecimento DN 80
5.000€

- Remover Secadores FD1600
Colocação dos secadores FD3000VSD no lugar dos secadores FD1600 (plataforma), adaptação de tubagem.
48.700€

9.15 Anexo 15 - Mapa de trabalhos e quantidades e estimativa orçamental da proposta de *layout* 2

A proposta para a instalação de dois compressores (ZR500VSD ER e ZR355 ER) um sistema de recuperação de energia ER900 e dois secadores FD3000VSD W é composta com as seguintes ações:

- Retirar os dois compressores e os dois secadores existentes.
- Colocar os dois novos compressores, os dois secadores e o ER900, nos locais mencionados
- Efetuar as tubagem de ligação aos secados em aço carbono DIN2448, os coletores serão DN300 e as ligações aos secadores serão DN200.
- Efetuar um coletor DN200 com duas picagens DN100 para ligação aos novos compressores, tubagem em aço carbono DIN2448. Este coletor será interligado ao coletor existente.
- Efetuar dois coletores DN80 com duas ligações cada coletor para efetuar a ligação das águas do compressor ao equipamento ER900, tubagem em aço carbono DIN2448.
- Efetuar a ligação do equipamento ER900 as duas válvulas existentes DN80, tubagem em aço carbono DIN2448.
- Efetuar linha de purga dos equipamentos novos instalados.
- Aplicação de flanges cegas e Tampões roscados nas linhas que vão ficar desativadas, ar comprimido e água dos compressores existentes.
- As válvulas aplicadas serão borboleta HIE, os Ø300 e Ø200 serão com redutores de volante manual.
- Desligar eletricamente os cabos dos equipamentos existentes e ligação dos cabos dos novos compressores.
- Pintura no interior das tubagens DN200 e DN300

Trabalhos de soldadura:

SOLDADURAS

- Materiais de adição compatíveis com o material base;
- Processos de Soldadura:
 - Soldadura Tungsten Inert Gas para tubagem (TIG)
 - Soldadura com proteção gasosa e fio sólido contínuo (MIG/MAG);
- Qualificação de soldadores conforme as normas EN 287, EN ISO 9606 e ASME IX.
- Qualificação de procedimento de soldadura conforme as normas EN 15614 e ASME IX

Ensaio não destrutivos conforme a seguinte tabela:

Ensaio	Extensão (%)
IV – Inspeção Visual	100%
RX – Raio X	10% nas tubagens DN300 e DN200
UT – Ultra sons	Não aplicável
MT – Partículas magnéticas	Não aplicável

TRATAMENTO SUPERFICIAL

- Decapagem a jato abrasivo a grau S 2½;
- Uma demão de primário a 50 µ;
- Uma demão de intermédio a 50µ;
- Uma demão de acabamento a 80 µ.

INCLUSÕES

- Fornecimento dos materiais inerentes à execução da obra;
- Fornecimento dos consumíveis inerentes à execução dos trabalhos;
- Mão-de-obra necessária à realização dos trabalhos deste orçamento;
- Equipamentos de proteção e segurança de acordo com as normas vigentes;
- Todas as ferramentas e equipamentos necessários à realização dos trabalhos;
- Todos os encargos inerentes aos nossos funcionários;
- Apresentação de um plano de segurança a aprovar pelo cliente antes do início dos trabalhos;
- Cumprimento das normas de segurança de acordo com o plano de obra, sempre com uma boa prática de execução;
- Seguros obrigatórios contra acidentes de trabalho;
- Seguro de responsabilidade civil no valor de 1.500.000,00€;
- Meios de elevação (andaimes, plataforma, etc...)

EXCLUSÕES

- Energia elétrica (220 e 380 V) para alimentação de ferramentas, iluminação e equipamento em obra.
- Água industrial para limpezas, ensaios hidráulicos e outros fins.
- Ar comprimido para alimentação de ferramentas pneumáticas e outros fins.
- Todos os trabalhos de instrumentação e construção civil.
- Todos os trabalhos extraorçamento. 6.6 Área para estaleiro, a combinar por ambas as partes.
- Grua para descarga dos equipamentos.
- Compressor, secador, filtros, purgas e maciço de assentamento.
- Regularização de maciços (aumentos e nivelamentos).
- Técnico de segurança permanente.
- Passagem de esteiras elétricas
- Passagem de cabos elétricos.
- Fornecimento de cabos elétricos.
- Nota de Cálculo, certificação e licenciamento;

Horário de trabalho:

- Dias uteis das 8:00h às 19:00h (com 1h para almoço e duas pausas)

Valor total: 92.435,29 € + I.V.A.

Custo dos meios de descarga dos equipamentos:

- 3.890,00 € + I.V.A.

Processo de Licenciamento pela Directiva PED

- Inclui:
 - Calculo de risco do sistema construído no âmbito deste fornecimento
 - Descrição do sistema
 - Manuais de instruções
 - Livro de peças
 - Diagramas electricos
 - Desenhos de implementação
 - Isométrica *as built*
 - Certificados dos equipamentos
 - Certificados de materiais e de soldadores
 - Certificado da instalação
- Custo:
 - 1.058,00 € + I.V.A.

Os preços dos equipamentos incluem transporte sobre camião até às instalações da Continental (Lousado).

Comissionamento:

- Na nossa oferta é considerado 5 dias uteis para comissionar o total deste sistema (inclui deslocação e mão de obra).

- Fornecimento e montagem de coluna adicional com disjuntor de 1250A para compressor Atlas Copco 500VSD
10.000€

- Fornecimento e montagem de cabos RZ1-K 3x(4x1x240)+G4x240
25.000€

- Remover compressor ZR5-1
Colocação do ZR500 VSD no lugar do ZR5-1, adaptação de tubagem AC DN 100; aumento da base de assentamento
26.000€

- Remover compressor ZR5-3
Colocação do ZR355 no lugar do ZR5-3, adaptação de tubagem;
17.700€

- Colocação do Recuperador de Energia ER900 junto do atual ZR5-3, Tubagem Refrigeração do compressor DN 50, Tubagem água de Caldeiras DN 50, Tubagem água da Torres de Arrefecimento DN 80
5.000€

- Remover Secadores FD1600
Colocação dos secadores FD3000VSD no lugar dos secadores FD1600 (plataforma), adaptação de tubagem.
48.700€

- Remoção do compressor GR200. Colocação compressor ESD441 no lugar do GR200. Colocação do compressor GA250 no lugar do ESD441. Colocação do compressor ZR 315 VSD no lugar do GA250. Adaptação de tubagem.
19.000€

- Colocação do ZR 315 VSD no local do GA 250. Utilização da cablagem [3x(2x1x240)+G2x1x240] do ESD 441 fazendo uma alimentação por cima. Custo para a mão de obra e caminho de cabos:
3.000€

- Colocação do ESD 441 no local do GR200. Aquisição de cabalagem nova [3x(2x1x240)+G2x1x240] a partir do bloco 34. Reg. disjuntor para 630A. Custo de cabos e mão de obra:
25.000€

- Colocação do GA 250 no local do ESD 441. Aquisição de cabalagem nova [3x(2x1x240)+G2x1x240] a partir do bloco 33. Custo de cabos e mão de obra:
25.000€