

Paula Cristina Vieira Monteiro Duarte

INFLUÊNCIA DA DESUMIDIFICAÇÃO NO CONSUMO ENERGÉTICO EM COMPLEXOS DESPORTIVOS COM PISCINAS COBERTAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ENERGIA, CLIMATIZAÇÃO E REFRIGERAÇÃO

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Prof. Doutor António Manuel de Sousa Baltazar Mortal



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2022

EM BRANCO

INFLUÊNCIA DA DESUMIDIFICAÇÃO NO CONSUMO ENERGÉTICO EM COMPLEXOS DES- PORTIVOS COM PISCINAS COBERTAS

Declaração da Autoria do trabalho

Declaro ser o(a) autor(a) deste trabalho, que é original e inédito.

Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Paula Cristina Vieira Monteiro Duarte

«Copyright» Paula Cristina Vieira Monteiro Duarte

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

EM BRANCO

AGRADECIMENTOS

Esta é uma oportunidade para agradecer a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização desta etapa. Sem o auxílio, colaboração e dedicação de várias pessoas, ao longo de toda a minha formação não teria sido possível aqui chegar.

Deixo aqui o meu agradecimento a todos os professores que me acompanharam ao longo do Mestrado, em particular ao Professor Doutor António Manuel de Sousa Baltazar Mortal por ter aceitado ser meu orientador, por todo o apoio prestado ao longo deste percurso e permanente disponibilidade.

Quero também agradecer aos meus filhos, João e Mariana, pelo seu apoio, incentivo e permanente motivação, obrigada.

Índice

1	Introdução	1
2	Estado de arte	7
2.1	Legislativo e normativo	9
2.2	Tecnológico	14
2.3	Medidas de melhoria de eficiência energética em CDPC	18
3	Caso de estudo: CDPC de Faro	23
3.1	Descrição do CDPC	23
3.2	Desagregação de consumos	25
4	Metodologia de cálculo e simulação dinâmica	28
4.1	Suporte informático	29
4.2	Psicrometria	29
4.2.1	Pressão	34
4.2.2	Humidade relativa	36
4.2.3	Conteúdo de humidade ou humidade específica	36
4.2.4	Entalpia específica	37
4.2.5	Volume mássico	38
4.2.6	Temperatura de bolbo húmido	39
4.2.7	Ponto de orvalho ou temperatura do ponto de orvalho	39
4.2.8	Evoluções Psicrométricas	40
4.3	Dados Climáticos	49
4.4	Taxa de Evaporação.....	52
4.4.1	Ocupação e funcionamento	53
4.5	Caudal.....	56

4.6	Sistemas de desumidificação	58
4.7	Cálculo geral da simulação	60
5	Simulações.....	61
5.1	Simulação A	61
5.2	Simulação B	72
5.3	Simulação C	80
5.4	Simulação D.....	89
6	Análise dos resultados obtidos.....	94
6.1	Comparação dos resultados obtidos com o caso de estudo.....	95
6.2	Análise da avaliação energética efetuada a complexos desportivos com piscinas cobertas	96
7	Considerações finais e propostas para trabalhos futuros.....	97
8	Bibliografia	99
9	Anexos.....	1
	ANEXO I - COMPLEXOS DESPORTIVOS EM ESTUDO	1
	CDPC - LOULÉ.....	1
	CDPC - CASTRO MARIM	2
	CDPC - QUARTEIRA	3
	CDPC - SILVES.....	4
	CDPC - ALJEZUR	5
	ANEXO II - SIMULAÇÕES	6
	SIMULAÇÃO A.....	6
	SIMULAÇÃO B	14
	SIMULAÇÃO C	18
	SIMULAÇÃO D.....	26

Índice de figuras

Figura 1-1 - Consumo de energia final por setor (%) – 2017 Fonte: DGEG - Caracterização Energética Nacional 2017	3
Figura 3-1 – Gráfico em percentagem dos consumos de energia desagregados, por tipo.	26
Figura 4-1 - Esquema da metodologia utilizada na simulação dinâmica.	28
Figura 4-2 - Diagrama de pressão versus temperatura da água.....	32
Figura 4-3 - Mudanças de fase da água.....	32
Figura 4-4 – Representação no diagrama psicrométrico das linhas de: A – Volume mássico; B - Entalpia específica; C - Temperatura de bolbo seco; D - temperatura de bolbo húmido; E - Conteúdo de humidade; F - Humidade relativa ...	41
Figura 4-5 - Diagrama ou carta psicrométrica.....	42
Figura 4-6 – Representação dos processos psicrométricos básicos – aquecimento, arrefecimento, humificação e desumificação.	43
Figura 4-7 - Processo de aquecimento e arrefecimento sensível representado num diagrama psicrométrico.	44
Figura 4-8 - Evolução pretendida do ar para manter as condições de conforto na nave da piscina.	48
Figura 4-9 - Esquema de sistema de desumificação por ar exterior – adaptado (19-B. Eva M Albarracin-CIATESA, n.d.)	58
Figura 4-10 - Esquema de sistema de desumificação por ar exterior com recuperação – fonte: (19-B. Eva M Albarracin-CIATESA, n.d.).....	59
Figura 4-11 - Esquema de sistema de desumificação por ar exterior com recuperação e permuta. Adaptado de (19-B. Eva M Albarracin-CIATESA, n.d.).....	59
Figura 5-1 – Simulação A - Dados obtidos em relação às necessidades de caudal de ar total, de forma a satisfazer os requisitos definidos.....	61
Figura 5-2 – Simulação A - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no mês de fevereiro.	62
Figura 5-3 – Simulação A - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada numa semana de maio – gráfico de maio e de novembro – gráfico de novembro.....	62
Figura 5-4 – Simulação A - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no dia 06 de novembro.	63
Figura 5-5 - Simulação A - Evolução anual das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas.	63
Figura 5-6 - Simulação A - Necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas, nos meses de fevereiro, maio e outubro.	65
Figura 5-7 – Simulação A - Variação das necessidades semanais de energia em [kWh], referente a uma semana de novembro.....	66

Figura 5-8 – Simulação A - Variação das necessidades diárias horárias de energia em [kWh], referente ao dia 6 de fevereiro.....	66
Figura 5-9 – Simulação A - Variação das necessidades diárias horárias de energia em [kWh], referente a um dia do mês de setembro.....	67
Figura 5-10 – Simulação A - Carta psicrométrica com evolução das características do ar num dia típico de fevereiro..	68
Figura 5-11 – Simulação A - carta psicrométrica com evolução das características do ar num dia de setembro.	69
Figura 5-12 – Simulação B – Variação anual de caudal de ar exterior a ser introduzido na nave de foram a retirar a massa de água evaporada.....	72
Figura 5-13 – Simulação B – Necessidades anuais de energia para manter as condições de conforto definidas.	73
Figura 5-14 – Simulação B - Dados obtidos referentes à evolução da energia necessária para manter as condições interiores durante os meses de fevereiro e novembro.....	75
Figura 5-15 – Simulação B – Evolução das necessidades de energia durante uma semana no mês de novembro	76
Figura 5-16 – Simulação B – Evolução das necessidades de energia durante o dia 20 do mês de fevereiro.	76
Figura 5-17 – Simulação B - carta psicrometrica com evolução das características às 16:00 do dia 20 de fevereiro.	78
Figura 5-18 – Simulação C – Evolução da necessidade de caudal de ar total durante o ano.	80
Figura 5-19 – Simulação C – Evolução da necessidade, em percentagem, de caudal de ar exterior e reciclado durante o mês de janeiro.	80
Figura 5-20 – Simulação C - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário, exterior e reciclado, para retirar a massa de água evaporada numa semana de maio – gráfico de maio e de novembro – gráfico de novembro.	81
Figura 5-21 – Simulação C- Dados da evolução do caudal de ar, reciclado e exterior, necessário para retirar a massa de água evaporada no dia 6 de novembro.	81
Figura 5-22 - Simulação C - Evolução anual das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas.	82
Figura 5-23 – Simulação C - Dados obtidos referentes à evolução da energia necessária para manter as condições interiores no mês de fevereiro.....	84
Figura 5-24 – Simulação C - Variação das necessidades semanais de energia em [kWh], referente a uma semana de novembro.....	84
Figura 5-25 – Simulação C - Variação das necessidades diárias horárias de energia em [kWh], referente ao dia 20 de fevereiro.....	85
Figura 5-26 – Simulação C – Diagrama psicrométrico com evolução das características do ar às 14:00 h do dia 20 de fevereiro.....	87
Figura 5-27 – Simulação D – Evolução da necessidade de caudal de ar total durante o ano.....	89
Figura 5-28 – Simulação D - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no mês de fevereiro.	89

Figura 5-29 – Simulação D - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada numa semana de maio.....	90
Figura 5-30 – Simulação D - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no dia 6 de novembro.....	90
Figura 5-31 - Simulação D - Evolução anual das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas.....	90
Figura 5-32 - Simulação D - Evolução das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas, durante o mês de fevereiro.....	91
Figura 5-33 - Simulação D - Evolução das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas, durante o dia 20 de fevereiro.....	91

Índice de tabelas

Tabela 1-1 - Metas setoriais face a 2005 de emissões de gases com efeito de estufa no horizonte 2030 – Fonte: (Bernardo, 2018).....	3
Tabela 2-1 - Evolução das piscinas municipais até 2007. Fonte: Ferreira, A. S. (2013).	8
Tabela 2-2 - Temperatura da água de piscinas cobertas - Adaptado de: Diretiva CNQ - NORMATIVA 23/93.....	9
Tabela 2-3 - Valores dos indicadores de performance energética na literatura. (Castro, 2020).....	22
Tabela 3-1 - Consumos anuais de energia[kWh] _{ep} desagregados por tipo do CDPC de Faro.	26
Tabela 4-1 – Composição do ano típico gerado pelo sistema TMY da PVGIS para obtenção do ano típico meteorológico (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).....	49
Tabela 4-2 – Excerto dos dados meteorológicos gerados pelo sistema PVGIS.	50
Tabela 4-3 – Excerto da folha de calculo com as propriedades hora a hora do ar exterior	51
Tabela 4-4 - Perfil de ocupação adaptado para a realização da simulação dinâmica.	54
Tabela 4-5 - Quantidade de água evaporada por hora de acordo com o perfil de utilização e taxa de ocupação do CDPC.	55
Tabela 4-6 - Excerto da folha de cálculo com a determinação das necessidades horárias de caudal de ar, de acordo com as condições definidas anteriormente, para todas as horas, durante o período de um ano.	57
Tabela 5-1 – Simulação A - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.	64
Tabela 5-2 – Simulação A – Propriedades do ar nos pontos de estado representados no diagrama psicrométrico seguinte, para o dia 6 de fevereiro às 10:00 h.	67
Tabela 5-3 – Simulação A - Propriedades do ar nos pontos de estado representados no diagrama psicrométrico anterior, no dia 18 de setembro às 16:00 h.....	70
Tabela 5-4- Simulação A- quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores. ..	71
Tabela 5-5 - Simulação A - Energia total anual para manter as condições interiores utilizando um sistema com caldeira a gás para aquecimento do ar.....	71
Tabela 5-6 - Simulação A, situação B - Energia total anual para manter as condições interiores utilizando uma bomba de calor para aquecimento do ar.	71
Tabela 5-7 – Simulação B - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.....	74
Tabela 5-8 – Simulação B - Propriedades do ar nos pontos de estado para o dia ao dia 20 de fevereiro às 16:00.	77
Tabela 5-9- Simulação B - Quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores. ..	79
Tabela 5-10 - Simulação B - Energia total anual para manter as condições interiores utilizando uma bomba de calor para aquecimento do ar.....	79
Tabela 5-11 – Simulação C - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.....	83

Tabela 5-12 – Simulação C – Propriedades do ar nos pontos de estado, na evolução em estudo, para o dia 20 de fevereiro às 14:00h.....	86
Tabela 5-13- Simulação C - Quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores.	88
Tabela 5-14 - Simulação C - energia total anual para manter as condições interiores utilizando uma bomba de calor para arrefecimento e aquecimento do ar.	88
Tabela 5-15 – Simulação D - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.	92
Tabela 5-16- Simulação D - Energia total anual para manter as condições interiores.	93
Tabela 5-17- Simulação D - Quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores, utilizando uma bomba de calor para aquecimento do ar.	93
Tabela 6-1 - Resumo das necessidades de energia para desumidificação e movimentação do ar, das simulações realizadas em kWh.	94
Tabela 6-2 – Resumo das necessidades de energia para desumidificação e movimentação do ar, das simulações realizadas em kWh de energia primária.....	94
Tabela 6-3 - Tabela comparativa de consumos de energia para desumidificação dos CDPC em análise.....	96

Lista de acrónimos

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
AQS	Água Quente Sanitária
CE	Custo Energético
CDPC	Complexos Desportivos com Piscina(s) Cobertas
EE	Energia Elétrica
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GP	Gás Propano
IEE	Indicador de Eficiência Energética
SCE	Sistema de Certificação Energética
PNEC	Plano Nacional integrado Energia Clima (2021-2030)
IPMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho <i>(International Performance Measurement and Verification Protocol)</i>
UTV	Unidade de termoventilação
UTA	Unidade de tratamento de ar
UTAN	Unidade de tratamento de ar novo

Lista de símbolos

C_{p_ar} = Capacidade calorífica específica do ar

C_{p_va} = Capacidade calorífica específica do vapor de água

$h_{g_{va@T_{ref}}}$ = Entalpia específica do vapor de água à temperatura de referência

H_r = Humidade relativa [%]

m = massa [Kg]

M = massa molecular [kg/mol]

m_{ar} = massa de ar seco [kg]

M_e – Taxa de evaporação em kg/h

m_{va} = massa de vapor de água [kg]

n = número de quilomoles

P = Pressão [Pa]

P_{atm} = Pressão barométrica, atmosférica ou total, local [kPa]

P_{ar} = pressão parcial de ar seco [Pa]

P_{va} = pressão parcial de vapor de água [Pa]

P_{va_sat} = pressão parcial de vapor de água saturado à temperatura de bolbo seco [Pa]

\dot{q}_s = Calor sensível por unidade de massa $[\frac{kJ}{kg}]$

Q_s = Calor sensível [kJ/kg]

Q_l = Calor latente [kJ/kg]

R = Constante universal dos gases [J/(kmol K)]

R_{ar} = constante universal do ar seco = 287,042 [J/(kg_{ar} K)]

R_{va} = constante universal de vapor 461,524 [J/(kg_{ar} K)]

T = temperatura absoluta [K]

T_{ar} = temperatura do ar seco [K]

T_{bh} = Temperatura de bolbo húmido [°C]

T_{ref} = Temperatura de referência

T_{orv} = Temperatura de orvalho [°C]

T_{va} = temperatura do vapor de água [K]

V = Volume total [m³]

V_{ar} = Volume de ar [m^3]

v_{ar} = volume mássico do ar seco [m^3/kg_{ar}]

V_{va} = volume de vapor de água [m^3]

ω = Conteúdo de humidade [kg_{ar}/kg_{va}]

ω_e – Conteúdo de humidade do ar saturado à temperatura da água da piscina (kg_{va}/kg_{ar})

ω_{ar} – Conteúdo de humidade do ar saturado à temperatura do ar interior (kg_{va}/kg_{ar})

Z = altitude ou elevação acima do nível médio do mar [m]

RESUMO

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios conjuntamente com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). O RECS estabelece as regras de projeto, de construção, de alteração, da operação, da manutenção, dos sistemas técnicos, bem como os requisitos mínimos necessários no sentido de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior, definindo a metodologia aplicável e classificando-o em função do resultado.

Os complexos desportivos com piscinas cobertas, englobados no setor dos edifícios de comércio e serviços, mas com necessidades energéticas diferentes dos demais, na medida em que, para além de variáveis comuns às outras tipologias, tais como a localização geográfica, época do ano ou até o número de horas de funcionamento, há a considerar as necessidades específicas para manter as condições ambientais requeridas ao fim a que se destina, nomeadamente em termos de desumidificação do espaço da nave.

O presente trabalho simula as necessidades energéticas para a desumidificação, por um período de um ano, no complexo desportivo com piscina coberta de Faro. Os dados assim obtidos são comparados com os consumos estimados pela avaliação energética, no âmbito da certificação energética, por forma a inferir do seu peso no consumo de energia, por forma a apresentar sugestões de melhoria desse fator.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização de um sistema de bomba de calor, independente do seu COP, permite melhorar o consumo de energia. Dos sistemas simulados, o que melhor apresenta consumo de energia é a recuperação de calor através de um permutador de placas ou outro sistema de transferência de calor com cobertura. Verifica-se que a utilização de cobertura permite ganhos energéticos muito significativos

Não foi possível retirar nenhuma conclusão em relação à comparação com outros CDPC, uma vez que a ocupação e os caudais de ar influenciam significativamente as taxas de evaporação, consequentemente o consumo de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Energia; Consumo Energético; Desumidificação; Piscinas municipais, Piscinas cobertas; Complexos desportivos;

ABSTRACT

The Energy Certification System of Buildings (SCE) aims to ensure and promote the improvement of energy performance of buildings in conjunction with the Energy Performance Regulation of Residential Buildings (REH) and the Energy Performance Regulation of Commercial Buildings, and Services (RECS). The RECS lays down the rules for design, construction, modification, operation, maintenance, technical systems, and minimum requirements to promote energy efficiency and indoor air quality by defining the applicable methodology, and classifying it according to the result.

Sports complexes with indoor swimming pools are included in the commercial and service building sector, but the energy needs are different from the others, as, besides variables common to other typologies, such as geographical location, time of year or up to the number of operating hours, specific needs to be considered to maintain the required environmental conditions for their intended purpose, in terms of dehumidifying the space pool.

The present work simulates the energy performance of a dehumidification system for a period of one year at Faro sports complex with indoor type swimming pool. The obtained compared with the estimated energy consumptions in the energy certification, within the scope of energy certification, with the objective of analyzing more precisely the effective influence of dehumidification in the energy consumption, to present suggestions for improving the systems or consumption.

The results obtained allowed us to conclude that the use of a heat pump system, regardless of its COP, improves energy consumption. Of the simulated systems, the one with the best energy consumption is heat recovery through a plate exchanger or other covered heat transfer system. It is verified that the use of coverage allows very significant energy gains.

It was not possible to draw any conclusions regarding the comparison with other CDPCs, since the occupancy and the airflows significantly influence the evaporation rates, consequently the energy consumption.

KEYWORDS: Energy; Energy consumption; Dehumidification; Municipal swimming pools, indoor swimming pools; Sports complexes

1 INTRODUÇÃO

A influência da atividade humana no sistema climático é cientificamente cada vez mais evidente e o aquecimento global do sistema climático é inequívoco (Allen et al., 2014).

As três últimas décadas foram as mais quentes alguma vez registadas, sendo a atual temperatura média do planeta 0,85°C superior à do século XIX. Esse facto resulta do aumento das emissões dos gases de efeito estufa - GEE devido a vários fatores sendo um dos mais importantes a queima de combustíveis fósseis, nomeadamente carvão, petróleo e gás (European Commission, 2014), resultado da necessidade crescente de energia para satisfazer as necessidades humanas.

Verifica-se, historicamente, que um maior desenvolvimento económico está associado a um maior consumo de energia. Atualmente o setor energético mundial representa mais de dois terços das emissões globais de gases com efeito estufa, sendo que, a procura global de energia cresceu mais de 50% entre 1973 e 2015, suportada pelos combustíveis fósseis que representam mais de 81% do consumo de energia primária em 2015 (IEA, 2019).

O consumo global mundial de energia em 2018 aumentou quase o dobro da taxa média de crescimento desde 2010, impulsionado por uma economia global forte e por maiores necessidades de aquecimento e refrigeração em algumas partes do mundo. A procura por todos os combustíveis aumentou, liderada pelo gás natural, apesar do elevado crescimento das energias renováveis. O maior consumo de energia gerou um novo recorde de emissões de CO₂, que aumentaram cerca de 1,7%, tendo sido a eletricidade responsável por mais de metade do crescimento da necessidade de energia. (IEA, 2019).

Desde o final dos anos 80 do século passado que a comunidade internacional está atenta a este assunto. Em 1992 na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (Cimeira do Rio), são assinados vários tratados na área do ambiente dando origem posteriormente ao Protocolo de Quioto (1997), um tratado jurídico internacional que pretende limitar as emissões de gases com efeito estufa dos países desenvolvidos, e mais recentemente em 2015 o Acordo de Paris que tem como objetivo até ao

final do século, limitar o aumento da temperatura média global a um máximo de 2°C comparado com o período pré-industriais. A União Europeia e os seus 28 Estados-Membros são signatários tanto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas como do Protocolo de Quioto, e do acordo de Paris sobre as alterações climáticas.

A União Europeia é responsável por 10% das emissões globais de GEE, mas é, no entanto, o líder mundial na transição para uma economia com emissões líquidas nulas de GEE, tendo nas últimas décadas conseguido dissociar o crescimento económico das emissões de GEE (COMISSÃO EUROPEIA, 2019). Desde 1979 que as políticas em matéria de eficiência energética, de mudança de combustíveis e da inclusão de fontes de energia renovável permitiram reduzir significativamente as emissões. O Conselho Europeu em 2017 reafirmou o compromisso da União Europeia e dos seus estados-membros de aplicar o Acordo de Paris, sublinhando inclusivamente que o Acordo «é um elemento fundamental para a modernização da indústria e da economia europeias»(COMISSÃO EUROPEIA, 2019).

Em conformidade com o acordo de Paris e ainda com objetivo de reduzir globalmente as emissões de gases com efeito de estufa em 80 a 95 % até 2050, a Comissão europeia criou o “Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050”, o qual indica que uma transição gradual e economicamente vantajosa requer uma redução dessas emissões em 40 % até 2030 e em 80 % até 2050, comparativamente a 1990 (Comissão Europeia, 2014), e estipula as contribuições de diferentes setores.

Nessa perspetiva e no âmbito Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho, Portugal elaborou o Plano Nacional integrado Energia Clima (PNEC) (Energética, 2019) o qual define os objetivos atingir. Um dos objetivos definidos é dar prioridade à eficiência energética, assegurando a melhoria na eficiência do consumo de energia nos diversos setores da economia nacional, através de várias linhas de atuação de entre as quais a promoção da renovação energética de edifícios e infraestruturas na Administração Pública (Bernardo, 2018). Todos os setores possuem potencial para reduzir emissões e na próxima década a descarbonização será mais acentuada na produção de eletricidade, transportes e edifícios, tal como se evidencia na tabela 1-1.

Setores	2030
Serviços	-70%
Residencial	-35%
Transportes	-40%
Agricultura	-11%
Resíduos e águas residuais	-30%

Tabela 1-1 - Metas setoriais face a 2005 de emissões de gases com efeito de estufa no horizonte 2030 – Fonte: (Bernardo, 2018)

Em Portugal e especificamente, o setor dos Serviços, após um período durante o qual o consumo de energia aumentou significativamente, com uma taxa de crescimento média anual de 5,1% no período 1997-2006, registou na última década (2007- 2016) um decréscimo no consumo com uma taxa de crescimento média anual de -1,4% (Energética, 2019), no entanto, desde 2013, com a melhoria da situação económica verificou-se também um aumento do consumo de energia.

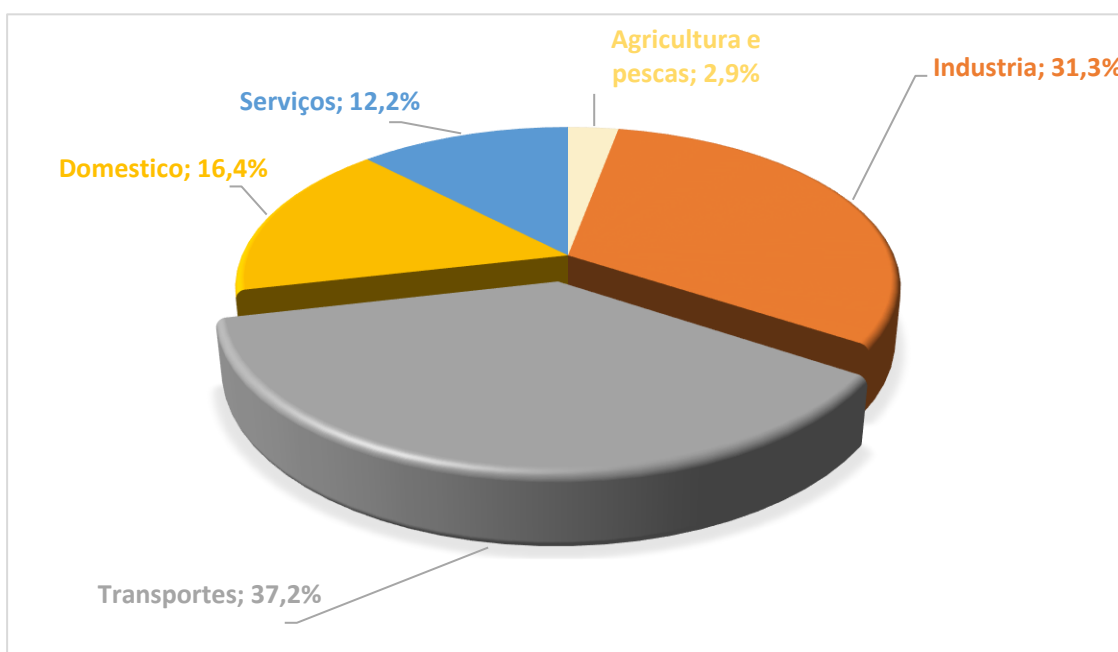


Figura 1-1 - Consumo de energia final por setor (%) – 2017 Fonte: DGEG - Caracterização Energética Nacional 2017

Em relação aos últimos dados disponíveis estes reportam a 2017 e verifica-se que não houve uma alteração muito significativa em relação ao ano anterior, onde o consumo de energia está distribuído de acordo com o gráfico da figura 1.1, representando os serviços cerca de 12% do consumo total.

O Sistema de Certificação Energética - SCE, atualmente em vigor, está incluído no do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto que assegura a transposição para o direito nacional da Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, bem realizou uma revisão da legislação nacional referente ao SCE de 2006. Neste diploma estão incluídos os Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Comércio e Serviços (RECS). O RECS estabelece as regras de projeto, de construção, de alteração, da operação, da manutenção, dos sistemas técnicos, bem como os requisitos mínimos necessários no sentido de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior, definindo a metodologia aplicável e classificando-o em função do desempenho.

Atualmente existem cerca de 183 mil edifícios com certificado energético no setor do comércio e serviços, sendo cerca de 83% dos certificados emitidos referentes a edifícios existentes (*Energia Em Números - Edição 2019 (Atualizado) | Observatório Da Energia, 2019*). As medidas de melhoria previstas nos certificados energéticos são uma ferramenta para melhorar a eficiência energética potenciando uma redução dos consumos energéticos.

Nesse sentido e de acordo com a metodologia do SCE, foram propostas um total de 136 mil de medidas de melhoria, isto é, uma média de 1,2 medidas de melhoria por certificado energético emitido (*Energia Em Números - Edição 2019 (Atualizado) | Observatório Da Energia, 2019*), abrangendo essas melhorias as várias vertentes, nomeadamente envolvente opaca e transparente (paredes, coberturas, pavimentos, vãos envidraçados), aquecimento arrefecimento ar condicionado e ventilação - AVAC, água quente sanitária, iluminação e energia renovável.

O setor dos serviços é muito heterógeno, pois engloba os serviços públicos, serviços privados de saúde e educação, o comércio, a restauração, a hotelaria, a banca e seguros etc., sendo o consumo muito influenciado pela zona climática e pela atividade a que o edifício se destina. No caso específico dos complexos desportivos com piscina cobertas –

CDPC estes apresentam elevados consumos de energia, devido à necessidade de manter as condições ambientais requeridas.

A prática do desporto, mais concretamente da natação, quer para fins de competição quer para fins de lazer, levou ao aparecimento de piscinas municipais multifuncionais que abrangem todas as faixas etárias e que incluem também uma grande diversidade de opções desportivas para atrair utentes (Ferreira, 2013), evidenciando o carácter público e social desta tipologia.

No início de 2013, estimavam-se em Portugal 411 complexos desportivos com piscinas os quais tinham de 611 tanques cobertos (Artilheiro Ribeiro, 2014). Atualmente, na região do algarve, distrito de Faro, existem 39 tanques cobertos distribuídos por 18 complexos desportivos.

Tal como referido, apesar de muitas medidas de melhoria já se terem proposto, ainda há um longo caminho a percorrer tanto na otimização de processos e melhoria de consumos como na conceção de soluções técnicas mais eficientes para os diferentes sistemas, por forma a atingir os objetivos e metas a que o país se propõe.

A presente dissertação pretende, de forma fundamentada, inferir sobre o peso do AVAC mais concretamente da desumidificação, nos consumos energéticos e do seu potencial de redução, quer através da utilização de tecnologias mais eficientes quer pelo melhor controlo de operação, em complexos desportivos com piscinas cobertas.

O principal objetivo é inferir sobre a influência efetiva da desumidificação nos consumos energéticos dos complexos desportivos com piscina coberta, através de simulação e sua comparação com um caso de estudo, para que se possa extrapolar para outros complexos desportivos, por forma a apresentar sugestões de melhoria da eficiência desses sistemas sem colocar em causa as necessidades de conforto nos edifícios de serviços classificados como CDPC, na região do Algarve.

Para atingir esse objetivo será necessário alcançar outros objetivos mais específicos, nomeadamente:

- Caracterizar o CDPC em estudo;
- Definição de todos os elementos necessários à realização dessa simulação;

- Realizar a simulação do desempenho energético de um sistema de desumidificação, por um período de um ano, no complexo desportivo de Faro;
- Comparar os dados obtidos na simulação com os dados da avaliação energética,
- Verificar da possibilidade de extrapolação a outros Complexos Desportivos com Piscina Coberta da região;
- Sugestão para melhoria dos consumos

2 ESTADO DE ARTE

Considera-se que, na Europa, a natação é uma atividade desportiva cuja prática remonta aos tempos dos impérios Gregos e Romanos, apesar de se considerar que teve a sua origem ao ano 36 a.c. no Japão. Durante a Idade Média deixou de ser praticada na Europa, reaparecendo posteriormente no início do século XIX em Inglaterra. A partir de 1896 a modalidade foi incluída nos Jogos Olímpicos da era moderna, integrando, desde então, todas as suas edições. Outras modalidades de natação e atividades tais com o polo aquático, saltos para a água, natação sincronizada, etc., foram sendo incorporadas também nos Jogos durante o século XIX (Menezes De Sequeira, 2013).

Em Portugal, a primeira coletividade desportiva remonta ao ano de 1856 e as primeiras determinações sobre o livre acesso à orla costeira remontam a 1898. Em 1906 o rei D. Carlos promove os primeiros campeonatos de natação no mar através do Real Ginásio Clube Português onde se iniciaram as primeiras classes de natação. A primeira piscina Olímpica a ser inaugurada em Portugal foi a do Estádio Náutico do Sport Algés e Dafundo em 1915, sendo aí que se disputaram todos os campeonatos nacionais até 1935. O clube dominou as provas da década de 60, o facto de o clube possuir um tanque coberto de entre outros fatores, proporcionaram a possibilidade de atingir também resultados de nível internacional (*História / Sport Algés e Dafundo*, n.d.).

As atividades recreativas nestes espaços foram aumentando assim como o interesse das pessoas principalmente nos meses mais quentes. A partir dos anos 80 a natação está presente em todo o território nacional, com o aparecimento de vários clubes e associações impulsionando o surgimento de um elevado número de piscinas municipais por todo o país.

Pela análise da tabela 2-1 podemos verificar a evolução do número de piscinas municipais desde 1960 até 2007, assim como o número de piscinas cobertas existentes no país, as quais estão incluídas em complexos desportivos e representam cerca de 70% do total de piscinas municipais.

Anos	Piscinas municipais cobertas	Piscinas municipais descobertas	total
1969	2	4	6
1970 – 1979	7	3	10
1980 – 1989	17	4	21
1990 – 1999	50	31	81
2000-2007	126	47	173
TOTAL	202	89	291

Tabela 2-1 - Evolução das piscinas municipais até 2007. Fonte: Ferreira, A. S. (2013).

As piscinas municipais, incluídas em complexos desportivos são um equipamento desportivo, cuja principal finalidade é o fomento e a prática desportiva na área das atividades aquáticas, tal como, a hidroginástica e as suas vertentes, a aprendizagem da natação e do polo aquático, com os seus diferentes níveis, o ensino especial bem como outras atividades de manutenção da condição física, tendo como função complementar à competição, a ocupação de tempos livres e de lazer.

No algarve à exceção de Vila do Bispo, todos os restantes municípios possuem pelo menos um CDPC. Assim nos 16 concelhos, existem 20 CDPC com um total de 41 tanques cobertos. Os tanques têm dimensões diversas, de acordo com o fim a que se destina:

- Treino competição em piscina Olímpica
- Utilização livre / piscina de competição
- Tanque de Aprendizagem / hidromassagem

2.1 LEGISLATIVO E NORMATIVO

Existe um vasto leque de legislação e normas que devem ser consideradas no que respeita a instalações e equipamentos desportivos, de tal forma que a Divisão de Infraestruturas Desportivas disponibiliza uma listagem com essa informação (IPDJ/DIED - Divisão de Infraestruturas Desportivas, 2013). No que concerne aos CDPC e no âmbito do presente trabalho, da listagem disponibilizada há a referir os seguintes documentos:

- Diretiva CNQ Normativa Nº 23/93
- Noma EN15288
- Norma NP EN 4448:2007

Há ainda a considerar, o decreto-lei 118/2013 onde está definido o RECS, no qual está incluída a regulamentação dos CDPC nomeadamente no que se refere ao desempenho energético deste tipo de edifício.

A diretiva do conselho nacional da qualidade de 1993 define alguns requisitos genéricos, a serem cumpridos em piscinas e nos estabelecimentos dedicados a atividades recreativas aquáticas correlacionadas, de uso público. De entre esses requisitos, há a referir:

- A temperatura da água dos tanques, de acordo com as suas tipologias, que deverão ser as indicadas na tabela 2.2.

Tipo de tanque	Temperatura mínima [°C]	Temperatura máxima [°C]
Desportivo - Geral	24	26
Desportivo Saltos	26	28
Aprendizagem recreio	26	28
Infantis Chapinheiro	28	30
Recreio – diversão	26	28
Polifuncionais	26	28

Tabela 2-2 - Temperatura da água de piscinas cobertas - Adaptado de: Diretiva CNQ - NORMATIVA 23/93

- Requisitos de conforto termo higrométrico:
 - a) Ambiente da zona de banho (nave da piscina):
 - Humidade relativa de 55 a 75 %
 - Temperatura (seca): superior ou igual à da água do tanque com a temperatura mais baixa, com o mínimo de 24°C.
 - Temperatura de bolbo húmido mínima de 23°C.
 - Caudal de ar renovado por banhista: 6 litros /segundo
 - Velocidade do ar insuflado, inferior a 0.2 m/s
- disposições construtivas que permitam assegurar adequadas condições de conforto dos utentes,
- proteção e de isolamento térmico da construção, e evitar a ocorrência de condensações sobre os paramentos da envolvente.
- envolvente exterior - coberturas, tetos e paredes -, deverão apresentar coeficientes de transmissão térmica (K) inferiores a 1,0 W/m²°C, nos elementos opacos, e nos elementos envidraçados ou transparentes, a 3,0 W/m²°C.

A NP 4448:2007 (*NP 4448 2007 - Aquecimento Piscinas | Energia Solar | Temperatura*, 2007), “apresenta recomendações relativas à conceção, instalação e operação de instalações solares térmicas para piscinas, nomeadamente instalações de aquecimento solar direto com circulação de água da piscina nos coletores solares”. O anexo “A”, de carácter informativo, estabelece a forma de cálculo das cargas térmicas de aquecimento da piscina e o anexo “B”, também de carácter informativo, identifica e caracteriza os diferentes tipos de coberturas a utilizar para a redução da perda de carga térmica.

NP EN 15288-1:2008+A1:2013 Piscinas - Parte 1: Requisitos de segurança para a conceção- é de relevância para o presente trabalho uma vez que define as principais diretrizes para o aquecimento e ventilação ambiente, nomeadamente, dever-se-á ter em consideração no tratamento do ar e aquecimento:

a) a relação entre a temperatura do ar e a humidade;

b) a temperatura da água da piscina;

c) a necessidade de minimizar a concentração de poluentes, em particular os que são nocivos para a saúde e que poluem a atmosfera (ex., cloraminas). Exemplos dos valores físicos típicos do ar no interior das piscinas cobertas:

- temperatura do ar:

- relativamente à temperatura da água da piscina:

- entre os +0°C e os + 4°C;

- humidade relativa entre os 40 % e os 80 %,

- preferencialmente < 60 %;

- velocidade do ar próximo dos utilizadores

- $\leq 0,10$ m/s.

O decreto lei 118/2013 assegura não só a transposição da diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, mas realiza uma revisão da legislação nacional existente à data. Este único diploma, inclui o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Decreto-Lei nº 118/2013-Diário Da República n.o 159/2013, Série I de 2013-08-20. Diploma, 2013).

O RECS define os requisitos de caracterização do desempenho dos edifícios, bem como de projeto, construção, alteração dos mesmos, e ainda as regras de operação e

manutenção dos seus sistemas existentes ou previstos, tendo em vista a eficiência energética e a qualidade do ar interior (Decreto-Lei nº 118/2013-Diário Da República n.º 159/2013, Série I de 2013-08-20. Diploma, 2013).

Os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente estão definidos da portaria n.º 349-D/2013, e deverão ser avaliados e cumpridos as premissas das características da envolvente opaca e envidraçada dos edifícios por forma a promover a melhoria do seu comportamento térmico, a prevenção de patologias e o conforto ambiente, sendo por tal estabelecido os parâmetros da qualidade térmica expressa em coeficiente de transmissão térmica da envolvente e de fator solar dos envidraçados.

Por forma a promover a eficiência dos sistemas técnicos e a utilização racional de energia, dos edifícios de Serviços e Comércio, os sistemas (de climatização, de preparação de AQS, de gestão de energia, de energias renováveis, de entre outros), devem ser avaliados e sujeitos a requisitos. Essas condições encontram-se definidos por portaria (Portaria nº 349-D/2013, 2013).

Tendo como objetivo a eficiência e a utilização energética, o RECS, para além dos requisitos referentes à conceção e instalação dos sistemas técnicos, estabelece também um IEE para caracterização do desempenho energético estabelecendo limites máximos e define a obrigatoriedade de efetuar avaliações energéticas periódicas dos consumos energéticos.

Por forma a assegurar o bem-estar e a saúde dos ocupantes, foram definidos através de portaria (Portaria 353-A/2013, 2013-12-04 - DRE, 2013) valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios e a respetiva metodologia de avaliação.

Quanto à ventilação mecânica, os sistemas de ventilação devem garantir uma distribuição homogénea do ar novo nas zonas ocupadas e também respeitar os valores mínimos de caudal de ar novo, afetados pela eficácia de remoção de poluentes definidos na portaria referida.

Em relação ao caudal mínimo de ar novo, existem dois métodos de determinação, o método analítico e método prescritivo. No método analítico esse caudal é calculado através do valor da concentração média de CO₂ durante o tempo em que está ocupado,

por forma a garantir uma concentração de CO₂ inferior aos limiares de proteção. No método prescritivo o caudal de ar novo é determinado com base na diluição das cargas poluentes resultantes dos ocupantes e dos materiais e da atividade desenvolvida do edifício de acordo com os elementos indicados no RECS.

No caso das piscinas, este método determina que o caudal mínimo de ar novo deverá ser calculado com base no valor de 20 m³/(hora.m²), em que a área de referência será a área do plano de água.

No que se refere à instalação, manutenção e condução dos sistemas técnicos deverão ser mantidos de forma a garantir as condições de funcionamento otimizadas tanto em termos de eficiência energética como em termos de qualidade do ar interior.

Em relação à determinação do consumo efetivo, é necessário desagregar os consumos anuais pelos principais tipos de utilização e forma de energia, para obter um dos termos IEE_S ou IEE_T. Para tal recorre-se às faturas de energia ou dados de contagem de energia representativos do funcionamento normal do edifício e também aos resultados de uma avaliação energética ou dados de sistema de gestão de energia.

Os dados obtidos na simulação dinâmica serão comparados com os dados efetuados na avaliação energética realizada no âmbito do SCE à CDPC de Faro.

2.2 TECNOLÓGICO

Os sistemas instalados nos CDPC devem permitir efetuar e manter um controlo da qualidade do ar e do ambiente interior. Os sistemas normalmente utilizados são unidades de tratamento de ar com capacidade para desumidificação.

O controlo da qualidade do ar é de extrema importância uma vez que são utilizados desinfetantes tais como cloro e bromo que originam substâncias voláteis potencialmente perigosas para a saúde como trihalometanos (THM), cloraminas, bromaminas e outros subprodutos da desinfecção, podendo existir elevados riscos para a saúde pública (Matos et al., 2006). A Organização Mundial da saúde aconselha valores de referência para estas substâncias, e a diretiva CNQ 23/93 impõe uma taxa de renovação de ar (caudal de ar renovado) por banhista de 6 l/s a ser garantido por uma unidade de tratamento de ar.

Em termos da qualidade do ambiente interior, também a manutenção de níveis confortáveis de humidade relativa e temperatura ambiente, velocidade do ar, são de elevada importância e encontram-se definidos na CNQ 23/93 e NP EN 15288.

Há ainda a considerar as perdas térmicas por evaporação que são de extrema importância pois representam cerca de 75% das cargas totais (Lazzarin & Longo, 1996), e o aumento da humidade relativa para diminuir essas perdas resulta num aumento de condensações. Assim a carga latente associada à evaporação do tanque deverá ser calculada de forma rigorosa, pois sendo a evaporação um processo de transferência de calor latente, através da absorção do calor da água do tanque da piscina, baixa a temperatura da água do tanque. Quanto maior for a taxa de evaporação, maior serão as necessidades de energia para o aquecimento da água do tanque.

É assim necessário quantificar a massa de água evaporada, tendo em consideração as condições de conforto exigidas em termos de:

- Temperatura do ar
- Temperatura da água
- Humidade relativa
- Velocidade do ar

O sistema mais simples para se conseguir obter um ambiente aceitável dentro de uma piscina coberta é a utilização de um ventilador de insuflação e um ventilador de extração separados a funcionar em simultâneo.

O modo de funcionamento é muito simples sendo a quantidade de ar novo insuflada dentro do espaço de forma a manter as condições de temperatura e humidade desejadas, o ar insuflado será aquecido através de unidade de ar condicionado individual. É um sistema que só é utilizado em piscinas de pequenas.

Existem dois tipos de “instalação” de sistemas de desumidificação:

- Tipo mural / chão que são instalados na nave da piscina (chão ou parede),
Esse tipo de desumidificador é geralmente utilizado em piscinas pequenas, com um plano de água de 20 a 40 m². No entanto, estes sistemas não introduzem ar novo no espaço, são mais eficazes quando utilizados em conjunto com outro sistema de insuflação e de exaustão de ar (Anna, 2011).
- Tipo unidade de conduta – embutidos / encastrados nas estruturas do edifício (conduta, unidade única ou com compressor remoto instalado em locais separado).

Destinam-se geralmente a piscinas de tamanho médio ou grande e, ou, onde não é possível a instalação de um do tipo mural / Chão. Estes desumidificadores são normalmente instalados em uma sala técnica e ligados através de uma rede de condutas de à nave da piscina efetuando a insuflação / retorno / exaustão do ar. Neste tipo de desumidificadores há a possibilidade de introdução de ar novo e de fazer a recirculação, é, pois, uma unidade de tratamento de ar.

Em termos de processos de desumidificação, podemos enumerar os seguintes:

- Condensação / bomba de calor
- Adsorção
- Com recuperação de energia

Os desumidificadores por condensação utilizam normalmente um fluido frigorífero, o seu funcionamento é idêntico a uma unidade de ar condicionado.

O ar passa por uma serpentina com um fluido frio e rapidamente condensa. De seguida o ar passa por um condensador que aquece o ar, e volta ao espaço com uma humidade relativa mais baixa. O condensado formado durante o processo de desumidificação é drenado.

O desempenho desse tipo de desumidificador depende em grande parte da temperatura inicial do ar. Quanto mais quente o ar, mais vapor de água pode estar contida nesse ar. Quando a temperatura do ar diminui, o teor de humidade no ar também diminui, e pode reduzir a eficácia do equipamento.

Na desumidificação por adsorção, a secagem da massa de ar é realizada pelo adsorvente. Funciona eficazmente na gama de temperaturas de -20°C a $+3^{\circ}\text{C}$ e humidade varia de 2% a 100%. A grande vantagem deste desumidificador é a possibilidade de secar sem refrigeração e trabalhar a temperatura muito baixas.

O ar húmido atravessa o rotor dessecante, revestido com um material higroscópico, normalmente sílica gel, que retém a humidade, sendo o ar seco devolvido ao recinto. Parte do ar novo é aquecido e entra numa secção da roda onde retira a humidade que tinha sido absorvida do ar da piscina sendo posteriormente também extraído para o exterior.

Assim, a construção do rotor permite o trabalho de dois fluxos de ar paralelos e ao mesmo tempo. Um fluxo de ar volta às instalações e a humidade é removida do adsorvente por um fluxo de ar quente adicional para secagem do rotor. Para permitir a secagem ininterrupta do ar e a regeneração do rotor adsorvente, este gira continuamente.

Este tipo de sistema que permite utilizar a energia térmica do ar de exaustão para pré-aquecer o ar novo que entra. O caudal de ar novo e o de exaustão passam por um permutador onde é possível a troca de calor sem misturar o ar. Como resultado, o ar novo, quando chega à bateria de aquecimento principal, já tem temperatura quase ideal. Assim o aquecimento que é realizado no aquecedor principal é reduzido, permitindo a também reduzir o consumo de energia. Os caudais podem ser regulados por registos, e quando a humidade relativa da piscina aumenta, é possível aumentar o caudal de exterior (abrindo o registo) e vice-versa.

Da pesquisa realizada para o presente trabalho, encontraram-se alguns estudos sobre a comparação de sistemas nomeadamente:

- A avaliação de diferentes sistemas de recuperação de energia para piscinas interiores (Lazzarin & Longo, 1996) que conclui que se podem obter vantagens importantes na escolha das condições de funcionamento interiores conjuntamente com a conceção da envolvente do edifício, e que o sistema de bomba de calor é com recuperador é o que tem um melhor desempenho.
- A comparação do desempenho energético entre dois sistemas de recuperação de energia: adsorção e bomba de calor (Lee & Kung, 2008)
- A utilização de bombas de calor para a climatização reduz significativamente o consumo energético em comparação com o sistema convencional caldeira e desumidificador (Lam & Chan, 2001);
- Comparação de consumos energéticos de vários sistemas: simples, com recuperador, bomba de calor, fazendo variar a humidade (Anna, 2011).

2.3 MEDIDAS DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CDPC

Definindo o PNEC como prioridade nacional a eficiência energética, assegurando a melhoria na eficiência do consumo de energia nos diversos setores da economia nacional, ora, como referido anteriormente, os CDPC são, na sua maioria edifícios municipais com elevados consumos de energia devido à necessidade de manter as necessidades de conforto dentro desses espaços, representam um custo importante dos municípios. Torna-se assim importante o estudo deste tipo de edifício, para se poder melhor a eficiência energética dos mesmos.

De acordo com a Guia de Boas Práticas (*BEST PRACTICE PROGRAMME ENERGY CONSUMPTION GUIDE 78, 2001*), existem medidas sem custo ou de baixo custo que permitem obter melhorias no consumo de energia em Complexos Desportivos com Piscina Cobertas, tais como:

- Rever as normas de iluminação, aquecimento e ventilação e outros consumidores de energia, e adaptar a função à necessidade, utilizando sensores, comutadores, temporizadores ou variadores de velocidade, que permitem evitar consumos desnecessários de energia sem reduzir a qualidade e o serviço prestado;
- Verificar se pequenos requisitos, tais como ventilação de um único local, não impliquem o funcionamento do restante sistema;
- Verificar e regular frequentemente as temperaturas da nave e da água das piscinas;
- Verificar e ajustar os parâmetros de ventilação de acordo com a ocupação, no período noturno a mesma deverá estar desligada, excetuando a zona da nave;
- Todos os sistemas existentes para economizar energia devem ser verificados frequentemente, de forma que estejam a ser utilizados de acordo com o que foi definido, por exemplo o caso de utilização de cobertura do tanque, a mesma deverá ser colocada logo após a saída do último utilizador;
- Deverá ser feita uma monitorização constante dos custos de água e energia, a fim de controlar o consumo e reduzir o desperdício;

- O consumo de água deverá ser monitorizado frequentemente, pois tal como os consumos energéticos deverão ser reduzidos o máximo possível, pois um consumo excessivo de água aumenta o consumo de energia;
- Realizar controlo, verificação e manutenção adequada, apropriada e eficaz aos sistemas e equipamentos existentes. A existência de um plano de investimento a longo prazo, a atualização do manual de operação e manutenção incorporando novos equipamentos e respetivas rotinas;

São ainda referidas outras medidas, mas que estão sujeitas a um investimento maior, sendo que, no entanto, a sua maioria, permitem um retorno do investimento num prazo relativamente curto:

- Para os sistemas de aquecimento, utilização de caldeiras de alta eficiência (preferencialmente as de condensação), permitem poupanças substanciais de energia;
- Instalação de unidades de cogeração, nomeadamente em piscinas de grandes dimensões;
- A colocação de coberturas nas piscinas para reduzir as perdas térmicas da água, evitando a necessidade de ventilação à noite e reduzindo as despesas de aquecimento;
- Instalação de coletores solares para a produção de energia térmica para o aquecimento das AQS.

Ainda no decurso da pesquisa bibliográfica realizada, foram encontrados vários trabalhos sobre a eficiência energética em complexos desportivos com piscinas cobertas, os quais incluem algumas das medidas enunciadas no guia, segue-se algumas dessas medidas:

- Aplicação de cobertura isotérmica nas piscinas (Isabel & Morim, 2014);
- Substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares; Implementação de cobertura térmica; Substituição de bombas de calor desumificadoras; Implementação de um sistema solar térmico; (Gonçalves, 2015)
- Substituição das lâmpadas; Instalação de sensores de movimento nos balneários; Instalação de caldeira a Pellets; Instalação de sistema solar térmico para aqueci-

mento das AQS; Instalação de Painéis Fotovoltaicos; Colocação de cobertura isotérmica; Revisão das bombas de circulação da piscina; Substituição e colocação de isolamentos térmicos nas tubagens; entre outras(F. Manuel & Moreira, 2015)

- Substituição da fonte de produção de água; Dimensionamento do sistema de bombagem de água, controlados por variadores de velocidade; Aplicação ou substituição de isolamentos das tubagens de fluidos; Diminuição de perdas térmicas pela envolvente do edifício através de isolamento; Reaproveitamento energético dos fluidos térmicos nos sistemas de climatização (ex.: UTAs fluxos cruzados) entre outros; (P. Manuel & Sampaio, 2016)
- Otimização do tempo de utilização dos equipamentos; Troca por equipamentos mais eficientes; Manutenção adequada; Aplicação de novas tecnologias; Otimização da gestão dos utilizadores do complexo (Fontes, 2015)
- Controlo de temperatura interior por meio de climatização automática; Adição de palas de sombreamento nos envidraçados; Emparedamento simples de uma parte dos envidraçados; Emparedamento com ETICS; Variador Eletrónico de Velocidade na eletrobomba; Automatização do sistema de lavagem de filtros das piscinas; Utilização de lâmpadas LED, sensores de presença, e instalação de tuneis de luz no telhado; Recuperação da água rejeitada da piscina para reutilização nas linhas de águas cinzentas (sanitários); Abastecimento da água da piscina através de água subterrânea (furos); Melhorar a estanquicidade do tanque de natação e compensação; Implementação de um software para monitorizar históricos, gráficos dinâmicos, registos de leituras e consumos;.(Alexandre & Delgado, 2015)
- Instalação de sistema de cogeração; substituição de todas as lâmpadas existentes pela tecnologia LED, sensores de presença, cobertura nas piscinas, painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade, (Apolinário, 2015a)

Em relação ao sistema AVAC, nomeadamente no que se refere à desumidificação das naves, uma das medidas de melhoria que se encontraram, para além das já referidas anteriormente descritas, foi a utilização de *free cooling*, (Almeida, 2014) mas com renitência devido há necessidade de manter as condições de qualidade do ar, não sendo realizada qualquer quantificação de melhoria.

Em Portugal, e em particular este tipo de infraestruturas desportivas são de difícil exploração económica, devido ao seu custo operacional, pelo que deverão ser analisadas numa perspetiva social, medindo, a rentabilidade social que delas advém (Quintela, Divo A; Humberto M., Jorge; Ribeiro, 2011).

Considerando que a seleção de indicadores de performance energética (IPE) é crítica na comparação de edifícios semelhantes através da qualificação dos consumos energéticos face a valores de referência, na medida em que valores bastante superiores em edifícios semelhantes são evidência de possibilidade de melhorias.

É difícil definir IPE, na medida em que os complexos com piscina interior, na sua definição, incluem não só complexos desportivos exclusivos para atividade aquática, mas também outros complexos com ginásios, halls de desporto etc.

É frequente na literatura relativa a consumos energéticos em CDPC, a utilização do indicador de consumo de energia por unidade de área de superfície de água em $kWh/m^2/ano$.

Este indicador não inclui algumas variáveis que influenciam o consumo energético, tais como o número de utilizadores, as condições climatéricas, soluções construtivas, temperaturas da água nos tanques, entre outros. Representa apenas os consumos finais totais e não apenas aqueles associados à manutenção das condições de conforto.

Da literatura consultada, verifica-se que o consumo de energia elétrica por unidade de área total em climas mediterrânicos, varia entre os 400 e 700 $kWh/m^2/ano$, enquanto o consumo anual de energia elétrica por unidade de área de superfície do plano de água assume valores entre os 2100 e 2900 $kWh/m^2/ano$

Definido assim os indicadores mencionados:

- Indicador por área total:

$$I_{AT} = \frac{\text{Consumo anual energia}}{\text{Área total}} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

- Indicador por área de superfície de plano de água

$$I_{AS} = \frac{\text{Consumo anual energia}}{\text{Área plano de superfície de água}} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

Estes indicadores de performance energética em complexos desportivos encontram-se condensados na tabela 2-3 da página seguinte.

Referência	Localização Geográfica	Ano de publicação	I_{AT} [kWh/m ²]	I_{AS} [kWh/m ²]
Piscina Municipal de Celas ¹ (P. Manuel & Sampaio, 2016)	Coimbra	2016	440	2896
Complexo de Piscinas Rui Abreu ¹ (Apolinário, 2015b)	Coimbra	2015	467	2141
Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição ¹ (Fontes, 2015)	Coimbra	2015	740	2776
Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra ¹ (Almeida, 2014)	Coimbra	2014	636	2618
Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools ² (Trianti-Stourna et al., 1998)	Grécia	1998	450	--
Energy Consumption of a Public Swimming Bath ³ (Saari & Sekki, 2008)	Helsínquia	2008	396	2784
Step2Sport (LEITAT & SEA, 2014) ⁴	Europa	2015	-	3200 ⁵ (1800-5500)
<p>(1) - Dissertações relativas a eficiência energética em CPI, instalações dedicadas unicamente a natação</p> <p>(2) - Artigo que sumaria os resultados de auditorias energéticas em CPI</p> <p>(3) - Artigo relativo a consumo de energia num CPI com várias instalações dedicadas a atividades não relativas à natação</p> <p>(4) - Relatório que compila os resultados de auditorias energéticas em CPI e outros complexos desportivos</p> <p>(5) – valor médio de 9 CPI</p>				

Tabela 2-3 - Valores dos indicadores de performance energética na literatura. (Castro, 2020)

3 CASO DE ESTUDO: CDPC DE FARO

Os complexos desportivos com piscina, apresentam um consumo energético bastante superior aos outros tipos de complexos desportivos na medida em que existe uma necessidade de energia, elétrica e térmica, acrescida considerando que é necessário, por um lado aquecer a água dos tanques e por outro manter as condições de temperatura e humidade na nave.

A manutenção dessas condições de conforto, é efetuada através da desumidificação da nave. A quantificação dessa energia e a sua contribuição para os consumos energéticos totais é o objeto de estudo no caso em estudo.

O CDPC foi objeto de uma auditoria energética em 2018. Tendo por base essa auditoria e os elementos existentes para a sua realização, foi possível obter a informação que caracteriza esse complexo desportivo bem como a desagregação os consumos energéticos.

3.1 DESCRIÇÃO DO CDPC

A piscina municipal de Faro tem a sua atividade afeta a serviços, na categoria centro desportivo com piscina coberta. Este CDPC está localizado na cidade de Faro e é composto por um único corpo de edifício com uma área útil total de 4526,65 m², distribuídos por quatro pisos.

O piso -1 é constituído por zonas de arrumo armazém e zona de máquinas. O piso 0 composto por zonas de atendimento, gabinetes, ginásio, nave, balneários e instalações sanitárias. O piso 1 é composto por vários gabinetes, bar, instalações sanitárias, e zona de bancada. O piso 2 é constituído por gabinete e por uma zona técnica onde se encontra a unidade de tratamento de ar que realiza a desumidificação da nave e outros equipamentos afetos à climatização.

Em termos climatéricos, de acordo com a legislação em vigor referente à certificação energética, o edifício encontra-se a uma altitude de 8 metros, tem inércia térmica média, pertence a uma zona climática I1 e V3, com uma distância à costa inferior a 5 km. A duração da estação de aquecimento é de 4,8 meses e tem 744 Graus Dia.

A nave onde se encontram as piscinas interiores tem um volume de 4150 m³, a superfície do plano de água é de cerca de 500 m², com duas piscinas:

- Piscina 25 m – 212 utentes/hora;
- Tanque de aprendizagem – 37 utentes/hora

A climatização para as necessidades de aquecimento e arrefecimento é realizada através da unidade tratamento de ar, por unidades de termoventilação na zona de balneários e ainda unidades de expansão direta em alguns zonas dos gabinetes e zona de atendimento ao público.

A ventilação é essencialmente mecânica, tendo sido determinado o caudal de ar novo, no certificado energético, pelo método prescritivo.

Na certificação energética estão contempladas propostas de melhoria, como o edifício possui um sistema de climatização com potência térmica superior a 25 kW, foi utilizada a simulação dinâmica multizona através do Programa *Design Builder*.

A produção térmica do edifício é obtida através de três caldeiras a gás natural, tanto para o sistema de desumidificação com para o aquecimento da água do tanque da piscina. Existem várias unidades de expansão direta do tipo *mono split* mural, instaladas nos escritórios e ginásio.

A distribuição da energia térmica proveniente das caldeiras é efetuada através de uma rede hidráulica com duas bombas de circulação à saída da caldeira. A água circula por dois coletores, ida e retorno, que distribui a água pelas unidades de tratamento de ar, com o auxílio de duas bombas, pelas unidades de termoventilação auxiliado por uma bomba, para aquecimento das águas quentes sanitárias através de uma bomba e para aquecimento da água das piscinas através de quatro bombas. As tubagens associadas à rede hidráulica são em ferro galvanizado, isoladas.

A emissão/difusão de energia térmica do edifício é distribuída através de condutas metálicas em que o ar novo da nave das piscinas é tratado nas três unidades de tratamento de ar que funcionam com insuflação de ar exterior e cujo aquecimento se processa numa bateria de aquecimento. A extração é efetuada com recurso a três ventiladores de extração. Para os balneários, a introdução de ar novo é efetuada através de duas UTV.

As águas quentes sanitárias destinam-se aos duches, sendo que o aquecimento é feito prioritariamente pelo sistema de captação de energia solar. Este sistema dispõe de 38 coletores solares. Sendo o aquecimento complementar (apoio) efetuado por uma caldeira e permutador de placas.

3.2 DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS

Para a elaboração do certificado energético foi necessário ter em conta, não só as características do edifício, como a área útil, equipamentos de climatização e tipo de atividade, mas também a legislação em vigor e as normas aplicáveis.

As necessidades energéticas estão associadas à satisfação das condições de conforto e requisitos de qualidade. O consumo energético e custos associados são a conversão das necessidades energéticas a um tipo de energia fornecida, ao seu custo e tendo em conta o rendimento dos equipamentos consumidores dessa energia.

Neste caso existia o registo dos consumos globais de eletricidade e gás, tendo os modelos sido ajustados em função dos valores globais e que parte dos parâmetros foram estimados, tendo como base valores de referência do comportamento neste tipo de instalações

Para a realização do certificado energético, e não tendo sido possível efetuar uma medição representativa tendo em vista a desagregação de consumos, esta foi obtida através de simulação multizona no Programa *Design Builder*.

Segundo o Protocolo de IPMVP, a medição que permite ter representatividade do comportamento dos sistemas, deverá contemplar um ciclo completo, o que significaria neste caso, 1 ano. Assim, o consumo anual de eletricidade, no ano de 2017, foi de 687.682 kWh, enquanto o consumo anual de gás natural em 2017, foi de 1.203.156 kWh.

Como, aquando da auditoria energética ao edifício, não foi possível desagregar com rigor os consumos parciais, estes foram estimados com base em simulação e nos dados recolhidos no local.

Uma vez que a estimativa dos consumos afetos ao aquecimento de água da piscina, aquecimento de águas quentes sanitárias, aquecimento ambiente dos balneários foram

efetuados com rigor, a estimativa dos consumos afetos à climatização e desumidificação da nave, foram obtidos pela diferença entre o consumo total e os outros consumos estimados, uma vez que as condições de operação das unidades de tratamento de ar não são conhecidas. Os consumos desagregados obtidos estão indicados na tabela 3.1 e no gráfico da figura 3-1.

Tipo de consumo	Valor Energia [kWh] _{ep}
Aquecimento	7 811
Aquecimento Gás	13 919
Arrefecimento	45 855
Desumidificação	886 126
Tanque Piscinas	197 717
Bombagem climatização	21 900
Iluminação inteiro	80 692
Ventilação	219 000
AQS	61 594
Outros consumos	10 846
Outros consumos cozinha	43 800
Bombagem piscina	284 700
TOTAL	1 873 960

Tabela 3-1 - Consumos anuais de energia[kWh]_{ep} desagregados por tipo do CDPC de Faro.

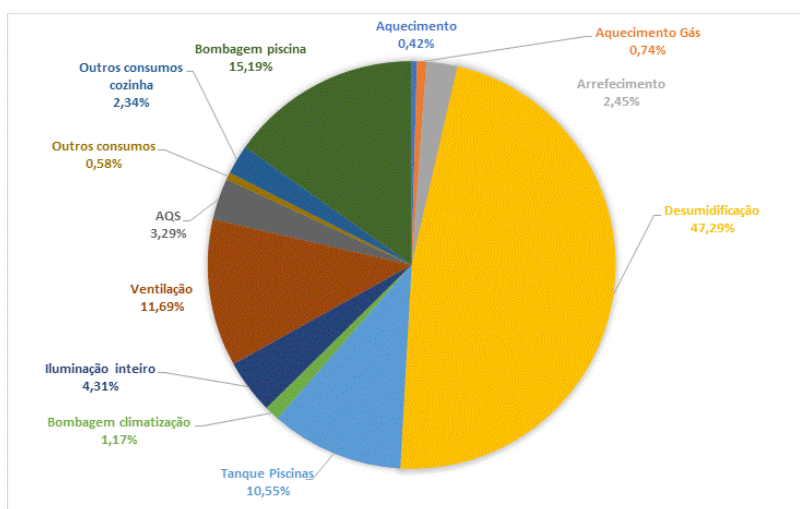


Figura 3-1 – Gráfico em percentagem dos consumos de energia desagregados, por tipo.

Em relação aos indicadores referidos anteriormente na Tabela 2-3 - Valores dos indicadores de performance energética na literatura. (Castro, 2020) o caso estudo apresenta os seguintes valores:

$$I_{AT} = 414 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2$$

$$I_{AS} = 3870 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2$$

A performance energética assim obtida para o caso em estudo está dentro dos valores anteriormente apresentados na tabela supramencionada.

Em relação aos consumos referentes à desumidificação estes irão ser comparados com os dados obtidos na simulação dinâmica realizada no âmbito do presente trabalho, definindo-se ainda outro indicador:

- Indicador de energia de desumidificação por área de superfície de plano de água

$$I_{DES} = \frac{\text{Consumo anual energia para desumidificação}}{\text{Área plano de superfície de água}} [\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2]$$

Que assume para o caso em estudo o valor de 1773 kWh_{ep}/m²

4 METODOLOGIA DE CÁLCULO E SIMULAÇÃO DINÂMICA

A metodologia utilizada na simulação dinâmica utilizou uma sequência de passos que se pretendem esquematizar na figura 4.1, nomeadamente:

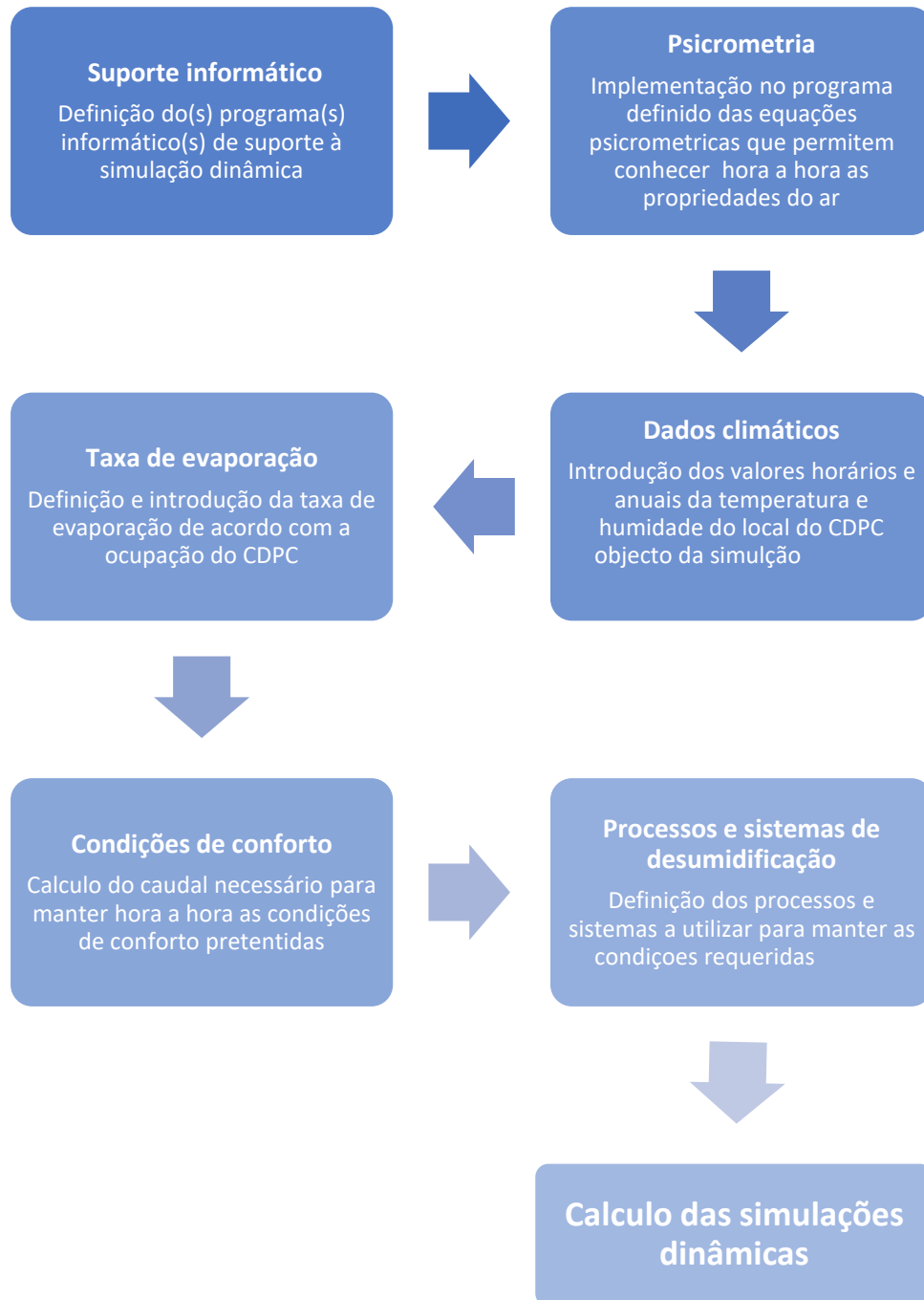


Figura 4-1 - Esquema da metodologia utilizada na simulação dinâmica.

4.1 SUPORTE INFORMÁTICO

Para a realização da simulação dinâmica, considerando o volume de dados existentes, a facilidade de introdução das equações necessárias e a rapidez do cálculo, utilizouse a folha de cálculo do Office, Excel.

No que diz respeito aos diagramas psicrométricos, os mesmos foram desenhados no software de livre utilização da Daikin Europe NV *Psychrometric Diagram Viewer* versão 4.1.0.

4.2 PSICROMETRIA

A psicrometria é o estudo das propriedades termodinâmicas do ar húmido, isto é, da mistura do ar atmosférico e do vapor de água nele contido. Através da análise da variação dessas propriedades é possível determinar as necessidades de energia para evoluir determinada(s) propriedade(s), de forma a atingir um objetivo previamente determinado.

Existe uma série de equações psicrometrias que são necessárias para determinar as propriedades do ponto do estado do ar. É necessário conhecer o valor de pelo menos três propriedades para determinar o estado. Por norma as propriedades são a pressão barométrica e a temperatura, pois são fáceis de medir. A terceira propriedade tem a ver com o vapor de água, e são normalmente a humidade relativa, temperatura de bolbo húmido ou temperatura do ponto de orvalho. A terceira propriedade pode também ser um valor fixo de entalpia ou conteúdo de humidade ou até de volume mássico, mas que são difíceis de medir.

A psicrometria aplica-se ao ar existente dentro dos edifícios, mas também ao ar exterior. Assim, o ar húmido que normalmente é abreviado por ar, é tratado pela psicrometria como uma mistura de dois gases quase ideais (dada a gama de temperaturas e pressão a que se encontram), e que não reagem entre si: - o vapor de água e o ar seco. Os gases ideais estão de acordo com a equação de estado que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P.V = n.R.T$$

(Equação 1)

Onde

P = Pressão [Pa]

V = Volume total [m³]

n = número de kilo moles

em que:

$$n = \frac{m}{M} \quad (\text{Equação 2})$$

Com:

m = massa [Kg]

M = massa molecular [kg/mol]

R = Constante universal dos gases [J/(kmol K)]

T = temperatura absoluta [K]

A componente de ar seco do ar, é por si só uma mistura de gases com 78% de nitrogénio, 21 % de oxigénio 1 % de árgon e ainda pelo menos outros 8 gases com uma percentagem de cerca de 0.03 %. Todos os gases que compõem o ar seco estão a uma temperatura muito superior às suas temperaturas críticas e não condensam a temperaturas superiores a - 100°C, considera-se assim como se de um único gás se tratasse, e nos cálculos psicrométricos assume-se que a sua composição não varia.

No que concerne ao vapor de água, a sua massa não é constante, uma vez que existe uma constante evaporação da água para a atmosfera e da atmosfera para a terra por precipitação. Há ainda atividades que adicionam vapor de água ao ar existente nos nossos edifícios, tal como a respiração, a transpiração, etc., e no caso específico do estudo pela evaporação do plano de água das piscinas. Existem assim os equipamentos que permitem retirar esse excesso de vapor de água por diversos motivos, desde a qualidade do ar interior, saúde, segurança, conforto etc.

Assim, o ar que nos rodeia, é estudado em psicrometria como uma mistura de duas substâncias ar seco e vapor de água, sendo que o vapor de água condensa.

As mais importantes propriedades de estado do ar são:

- Pressão total ou barométrica, que é a soma da pressão parcial de ar seco com a soma da pressão parcial de vapor de água;
- Temperatura de bolbo seco ou temperatura;
- Temperatura de bolbo húmido;
- Humidade relativa;
- Conteúdo de humidade ou razão de humidade;
- Ponto de orvalho ou temperatura de Ponto de orvalho;
- Volume mássico (inverso da massa volúmica)
- Entalpia específica

Mantendo-se a pressão total, e conhecendo duas propriedades independentes, tais como:

- Temperatura e temperatura de bolbo húmido ou;
- Temperatura e humidade relativa ou;
- Temperatura e temperatura do ponto de orvalho;

é possível determinar o ponto de estado, sendo estas as combinações mais comuns pois podem ser medidas.

Existem processos que envolvem o conteúdo de humidade constante ou entalpia específica constante sendo o ponto de estado final determinado utilizando a humidade relativa inicial ou a entalpia específica.

Tanto a pressão parcial de vapor como a temperatura de orvalho e o conteúdo de humidade não são propriedade mutuamente independentes, por isso só uma destas propriedades pode ser utilizada para determinar pontos de estado. Da mesma forma, e apesar da temperatura de bolbo húmido e a entalpia serem teoricamente independentes, só se deve utilizar uma dessas propriedades para determinar o ponto de estado psicrométrico.

No cálculo psicrométrico e tal como referido que ar é uma mistura de ar seco e vapor de água, é necessário conhecer as propriedades da água nas suas fases.

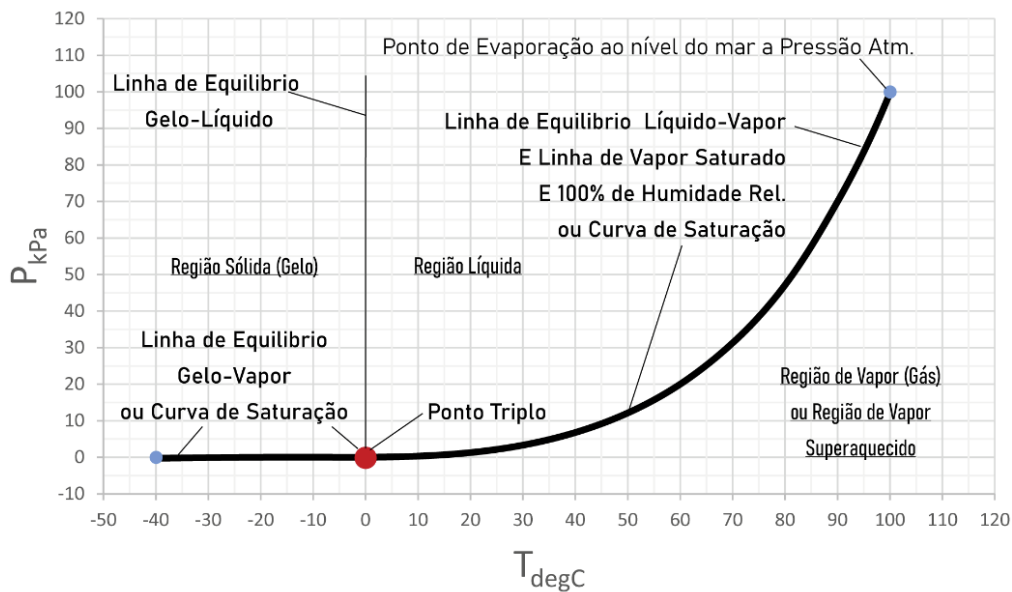


Figura 4-2 - Diagrama de pressão versus temperatura da água

No diagrama da figura 4-2, os pontos de interesse no estudo da psicrometria, à pressão atmosférica, são as duas linhas inferiores, que se juntam no ponto triplo e que separam as fases sólida e a fase líquida da fase de gás. A região abaixo destas linhas é a região do vapor, uma substância que se encontre nesta região diz-se superaquecida, pois está a uma temperatura mais elevada que a sua temperatura de saturação. As linhas são denominadas de linha de saturação e determina o equilíbrio entre duas fases.

À pressão atmosférica, o processo de fusão, envolve a mudança de fase sólida para a líquida requer que se adicione 333,47 kJ/kg de energia ao gelo a uma temperatura constante. O processo inverso, a solidificação, requer que seja retirada da água líquida a mesma quantidade de energia. As mudanças de fase podem ser visualizadas na figura 4-3.

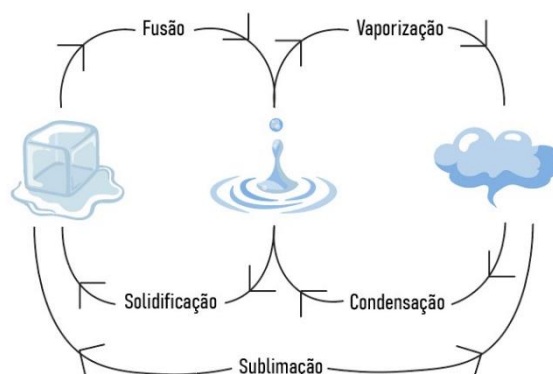


Figura 4-3 - Mudanças de fase da água

A mudança da água da fase líquida para a fase de vapor, a temperatura constante, processo denominado de evaporação, é necessário adicionar entre 2500, kJ/kg a 2256,47 kJ/kg de energia à água líquida. Dependendo da temperatura a que a mesma se encontra. Esta energia é chamada de calor latente da evaporação. O processo inverso, condensação é também necessário retirar do vapor a mesma quantidade de energia. Essa energia é chamada de calor latente de condensação.

A sublimação, e o processo inverso, sublimação inversa, envolve uma mudança de fase de sólido a vapor ou de vapor a sólido. O calor de sublimação é a soma do calor latente de evaporação e de condensação, isto é 2834,36 kJ/kg.

No que respeita à saturação, o termo vem do latim e significa “cheio” isto é o volume já não tem capacidade para conter mais. Neste caso, o volume em causa está saturado em relação ao vapor de água., isto é já não consegue conter mais vapor de água, à temperatura em questão. Ao arrefecer vapor superaquecido a uma pressão constante até à temperatura na curva de equilíbrio de vapor de água, esse vapor irá estar saturado. Se a temperatura do vapor baixar, por arrefecimento, quaisquer moléculas de vapor de água que se adicionem ao volume irão passar à fase líquida, pois o volume já está saturado, isto é, já contém o máximo de moléculas de água.

A uma determinada pressão e temperatura, qualquer substância que se encontre sobre a linha de saturação, diz-se saturada. A saturação não é mais do que uma condição de equilíbrio entre vapor e a fase líquida ou sólida de mesma substância. A linha de saturação é também chamada de curva de saturação ou de temperatura de ponto de orvalho. A temperatura de ponto de orvalho é a temperatura que ocorre a saturação, sem alteração da pressão de vapor.

A curva de saturação de vapor é independente da pressão atmosférica ou altitude, depende somente da temperatura, nem sendo alterada pela presença de outros gases. Assim, quando se diz que o ar está saturado de vapor de água, o que se quer efetivamente dizer é que, para um determinado volume, foi atingido o máximo de moléculas de vapor de água, a uma determinada temperatura.

A determinação analítica da curva de saturação foi estudada durante os últimos 200 anos e foram definidas várias equações de aproximação.

Alguns dos modelos psicrométricos utilizam a equação de Antoine (Gatley 2013):

$$\ln(P_{va_s}) = A - \frac{B}{(T_C + C)} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A, B e C = Coeficientes A, B e C variam com a faixa de temperatura

T_C = Temperatura em °C

No entanto existe uma série de outras equações de aproximação à curva de saturação que poderão ser utilizadas na sua determinação.

4.2.1 Pressão

A pressão barométrica, atmosférica ou total é a força por unidade de área exercida pelo peso de uma coluna de ar acima de um local específico, o peso é a força exercida pela gravidade na unidade de massa de ar.

A pressão total varia assim com a altitude, tendo sido desenvolvida em 1925 pela Organização internacional de aviação (ICAO) sendo ainda utilizada:

$$P_{atm} = 101,325 * (1 - 2,25577 * 10^{-5} * Z)^{5,256} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

P_{atm} = Pressão barométrica, atmosférica ou total, local [kPa]

Z = altitude ou elevação acima do nível médio do mar [m]

Não é possível medir a pressão de um determinado constituinte do ar em nosso redor, pois é uma mistura de gases. Usando a lei de Dalton, a pressão total do ar é igual à soma da pressão das moléculas de vapor de água e a pressão do ar seco (N_2 , O_2 , Ar, etc.) moléculas como mostrado nesta equação:

$$P_{atm} = P_{va} + P_{Ar} + P_{O_2} + P_{N_2} \dots$$

Como o ar seco é a soma de todos os componentes do ar exceto o vapor de água, temos que:

$$P_{atm} = P_{ar} + P_{va} \quad (\text{Equação 5})$$

Assim, escrevendo a equação dos gases perfeitos para cada um dos componentes do ar temos:

$$P_{ar} * V_{ar} = m_{ar} * R_{ar} * T_{ar} \quad (\text{Equação 6})$$

Para o ar e,

$$P_{va} * V_{va} = m_{va} * R_{va} * T_{ar} \quad (\text{Equação 7})$$

Para o vapor de água,

Mas como é uma mistura e pela lei de Dalton, temos que:

$$V_{va} = V_{ar} \quad e \quad T_{va} = T_{ar}$$

Onde:

P_{ar} = pressão parcial de ar seco [Pa]

P_{va} = pressão parcial de vapor de água [Pa]

P_{atm} = pressão atmosférica ou pressão total [Pa]

V_{ar} = Volume de ar [m³]

V_{va} = volume de vapor de água [m³]

m_{ar} = massa de ar seco [kg]

m_{va} = massa de vapor de água [kg]

T_{ar} = temperatura do ar seco [K]

T_{va} = temperatura do vapor de água [K]

R_{ar} = constante universal do ar seco = 287,042 [J/(kg_{ar} K)]

R_{va} = constante universal de vapor 461,524 [J/(kg_{ar} K)]

É essencial conhecer a pressão de saturação do vapor de água para o cálculo de outras propriedades. Para a sua determinação foi utilizada a equação de Arden Buck (ASHRAE 2010), nomeadamente:

$$P_{va,s}(T) = 6,1121 \exp \left(\left(18,678 - \frac{T}{234,5} \right) \left(\frac{T}{257,14 + T} \right) \right) \quad (\text{Equação 8})$$

Com T em °C, sobre água líquida e temperaturas superiores a 0 °C.

4.2.2 Humidade relativa

A humidade relativa é a razão a razão entre a pressão de vapor de água existe e a pressão de vapor de água saturada na mesma temperatura de bolbo seco, normalmente é expresso em forma de percentagem.

Através da definição de humidade relativa, podemos determinar o seu valor, pela equação:

$$Hr = \frac{P_{va}}{P_{va_Sat}} * 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

Hr = Humidade relativa [%]

P_{va} = pressão parcial de vapor de água [Pa]

P_{va_Sat} = pressão parcial de vapor de água saturado à temperatura de bolbo seco [Pa]

Encontrando-se à mesma pressão atmosférica e à mesma temperatura.

4.2.3 Conteúdo de humidade ou humidade específica

O conteúdo de humidade ou humidade específica é uma propriedade definida como a razão entre massa de vapor de água e a massa de ar seco, numa amostra ou volume de ar. A equação que decorre da sua definição, é:

$$\omega = \frac{m_{ar}}{m_{va}} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

ω = Conteúdo de humidade [$\text{kg}_{ar}/\text{kg}_{va}$]

m_{ar} = massa de ar seco [kg]

m_{va} = massa de vapor de água [kg]

No entanto e considerando a equação de gases ideais, podemos escrever a equação da seguinte forma:

$$\omega = 0,621945 \frac{P_{va}}{P_{ar}} \quad (\text{Equação 11})$$

Através da equação da pressão total, obtemos:

$$\omega = 0,621945 \frac{P_{va}}{P_{atm} - P_{va}} \quad (\text{Equação 12})$$

O conteúdo de humidade é bastante importante em alguns processos psicrométricos porque permite ver a evolução e a quantificação da quantidade de valor de água (variável) relacionando-a com a massa de ar seco constante.

4.2.4 Entalpia específica

A entalpia específica (ou seja, entalpia por unidade de massa) é a soma de dois componentes de energia associados a uma substância, nomeadamente a energia molecular interna específica (u) e a energia específica do trabalho ($p \cdot v$). A entalpia específica é então definida por:

$$h = u + p \cdot v \quad (\text{Equação 13})$$

Aplicando a regra de a regra de Gibbs-Dalton, a entalpia é a soma das entalpias específicas do componente ar seco e do componente vapor de água do ar. Sendo calculada da seguinte forma:

$$h = h_{ar} + h_{va}$$

$$h = C_{p_{ar}} (T - T_{ref}) + \omega * [(hg_{va@T_{ref}} + C_{p_{va}}(T - T_{ref}))]$$

Considerando que normalmente as seguintes aproximações e considerações:

$$T_{ref} = 0^\circ\text{C}$$

E que $C_{p_{ar}}$ e $C_{p_{va}}$ constantes nas temperaturas em estudo assumindo os valores de:

$$C_{p_{ar}} = 1,006 \text{ kJ}/(\text{kg}_{ar} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$C_{p_{va}} = 1,84 \text{ kJ}/(\text{kg}_{va} \cdot ^\circ\text{C})$$

E ainda que:

$h_{g_{va}@0^{\circ}C} = 2499,86 \text{ kJ/kg}_{va}$, à pressão atmosférica

a equação simplificada fica:

$$h = 1,006 * T + \omega * (2499,86 + 1,84 * T) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (\text{Equação 14})$$

Onde;

Cp_{ar} = Capacidade calorífica específica do ar

Cp_{va} = Capacidade calorífica específica do vapor de água

$h_{g_{va}@T_{ref}}$ = Entalpia específica do vapor de água à temperatura de referência

T_{ref} = Temperatura de referência

Assim a entalpia indica energia que o ar possui num determinado ponto estado.

4.2.5 Volume mássico

O volume mássico é o volume por unidade de massa do componente de ar seco, sendo expresso em metros cúbicos por quilograma de ar seco ($\text{m}^3/\text{kg}_{ar}$). Pode ser assim calculada através da equação dos gases perfeitos, de acordo com o descrito anteriormente nomeadamente através das equações 5 e 6, o volume mássico por ser escrito como:

$$v_{ar} = \frac{R_{ar} * T}{P_{atm} - P_{va}} \quad (\text{Equação 15})$$

Sendo:

v_{ar} = volume mássico do ar seco [$\text{m}^3/\text{kg}_{ar}$]

Pela equação de Dalton em que o volume total é compartilhado pelo gás ar seco e o vapor de água assim:

$$v_{ar} = v_{va} = v_{total} = v$$

Não se utiliza os subscritores para a identificação do volume mássico.

4.2.6 Temperatura de bolbo húmido

A temperatura de bolbo húmido ou de saturação adiabática, pode ser definida como a temperatura de saturação à qual o ar pode ser arrefecido adiabaticamente (sem ganho ou perda de calor) por evaporação de água à sua temperatura de saturação, ou como a temperatura mais baixa atingível quando a água líquida ou gelo é posto em contacto com o ar, ou ainda como a temperatura na qual a água líquida ou gelo pode ser evaporado ou sublimado para trazer o vapor de água ao estado saturado, na mesma temperatura e pressão do bolbo húmido.

Para o cálculo da temperatura de bolbo húmido utilizou-se a fórmula empírica definida por Roland Stull (Stull 2011), que permite o cálculo em função da humidade relativa e da temperatura do ar, sendo válida para humidade relativa entre 5% e 99% e temperatura do ar entre os -20 e os 50°C para à pressão padrão ao nível do mar.

$$T_{bh} = T * \tan^{-1} \left[0,151977(Hr + 8,313\ 659)^{\frac{1}{2}} \right] + \tan^{-1}(T + Hr) \\ - \tan^{-1}(Hr - 1.676331) + 0,00391838(Hr)^{\frac{3}{2}} \\ * \tan^{-1}(0,023101 * Hr) - 4,686035$$

(Equação 16)

4.2.7 Ponto de orvalho ou temperatura do ponto de orvalho

Define-se a temperatura do ponto de orvalho como, para qualquer vapor condensável, a temperatura na qual a fase de vapor de uma substância será saturada sem mudança na pressão, isto é, ou seja, a temperatura de saturação correspondente à pressão de vapor.

Assim, a temperatura de orvalho, é a temperatura à qual o ar deve ser arrefecido para atingir a saturação (sem variação de pressão), e a humidade relativa atinge os 100%. A equação utilizada (Hardy 1998) para esse cálculo, em função da temperatura e da humidade relativa foi :

$$T_{orv}(T; Hr) = \frac{\lambda * \left(\ln \left(\frac{Hr}{100} \right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T} \right)}{\beta - \left(\ln \left(\frac{Hr}{100} \right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T} \right)}$$

(Equação 17)

Com:

$$\beta=17,62$$

$$\lambda=243,12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

e válida para valores de temperatura entre -45°C e 60° (Anon n.d.).

4.2.8 Evoluções Psicrométricas

O estudo do ar e das suas propriedades, ao longo da história evoluiu significativamente pois, inicialmente, as crenças sobre o ar, a água, e o calor tornavam o seu estudo quase impossível, para além do facto de se tratar de duas substâncias invisíveis e que só na década cinquenta do sec. XVIII os cientistas descobriram que os elementos podiam ter uma fase gasosa.

Os primeiros estudos psicrométricos foram realizados na europa, mas a partir de 1900 houve um maior desenvolvimento desses estudos na América do Norte, devido às necessidades de refrigeração, desumidificação com vista a melhorar processos produtivos ou posteriormente à melhoria das condições de conforto térmico. São assim muitos os cientistas e até inicialmente filósofos, que contribuíram para o estudo e evolução da psicrometria (Gatley 2013).

Considerando que se está a estudar um processo que se torna difícil de visualizar e até de entender, o recurso a gráficos e tabelas foram ao longo dos anos uma ajuda importante para a perceção e ou demonstração de fenómenos termodinâmicos. Assim, desde os diagramas de Mollier como as cartas de Carrier tornaram-se uma ferramenta muito importante no estudo psicrométrico.

Por norma, num diagrama psicrométrico estão representadas as seguintes propriedades:

- Volume mássico: representa o volume ocupado por um quilograma de ar seco em uma condição específica. A inversão desse valor permite calcular a massa volumica do ar;
- Entalpia: indica energia térmica que o ar húmido possui numa determinada condição;

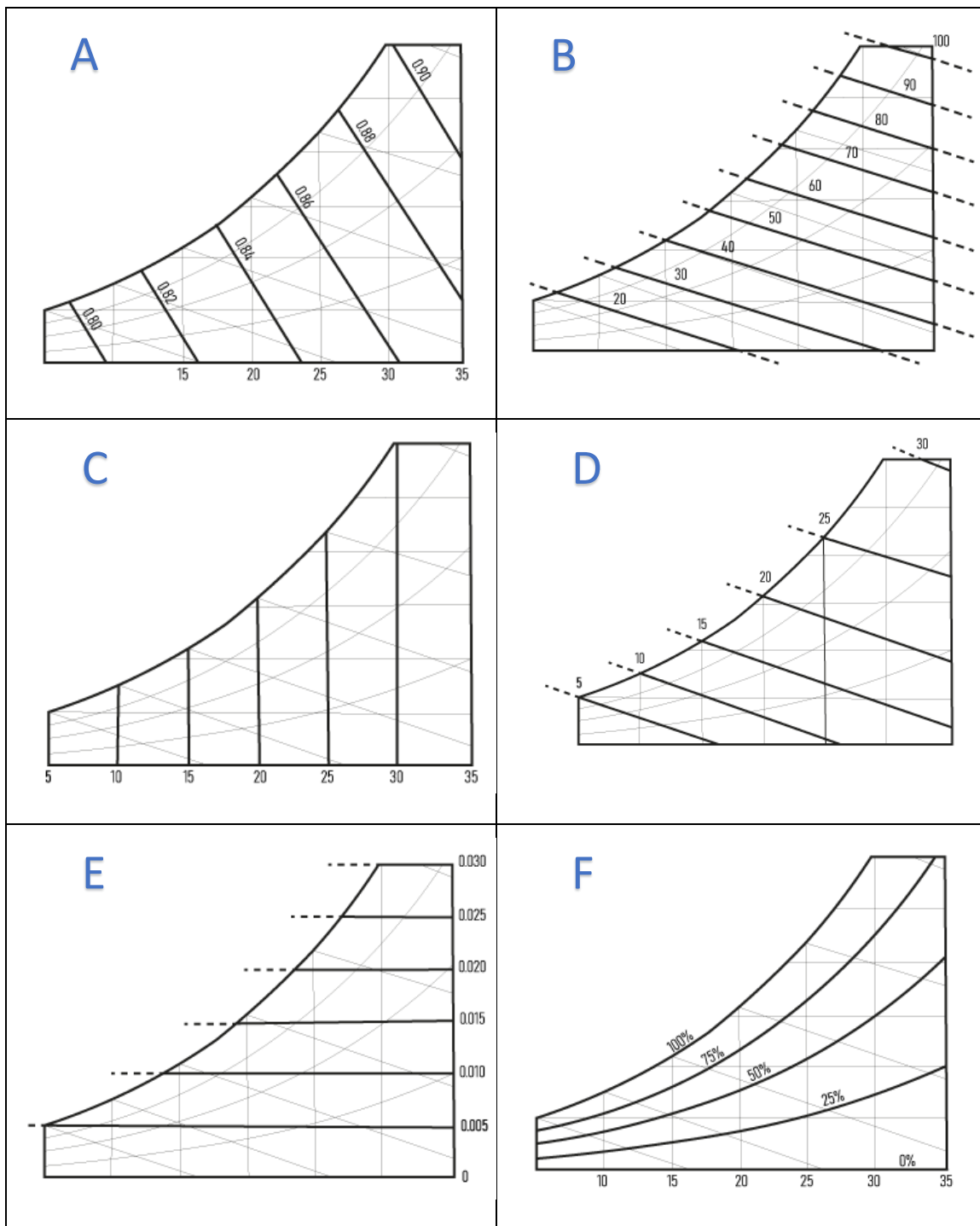


Figura 4-4 – Representação no diagrama psicrométrico das linhas de: A – Volume mássico; B - Entalpia específica; C - Temperatura de bolbo seco; D - temperatura de bolbo húmido; E - Conteúdo de humidade; F - Humidade relativa

- Conteúdo de humidade: é a relação entre a massa de vapor de água por unidade de massa de ar seco;
- Temperatura de bolbo húmido: é a temperatura medida por um termómetro com o bolbo tapado por algodão molhado;

- Ponto de orvalho: é a temperatura onde se inicia o processo de condensação do vapor de água presente no ar húmido, que em termos de diagrama corresponde à interseção da linha de temperatura de bolbo húmido com a linha de saturação de 100 % de humidade relativa.
- Humidade relativa: é a relação entre a quantidade de humidade contida no ar e a máxima quantidade que o ar pode conter, a uma determinada temperatura.

Cada uma destas propriedades pode ser visualizada de acordo com as linhas indicadas na figura 4- 4 da página anterior.

O diagrama psicrométrico permite assim, definir o ponto de estado, vide figura 4.5, e de forma rápida, visualizar as evoluções das propriedades do ar, e calcular a energia necessária à evolução e processos pretendidos.

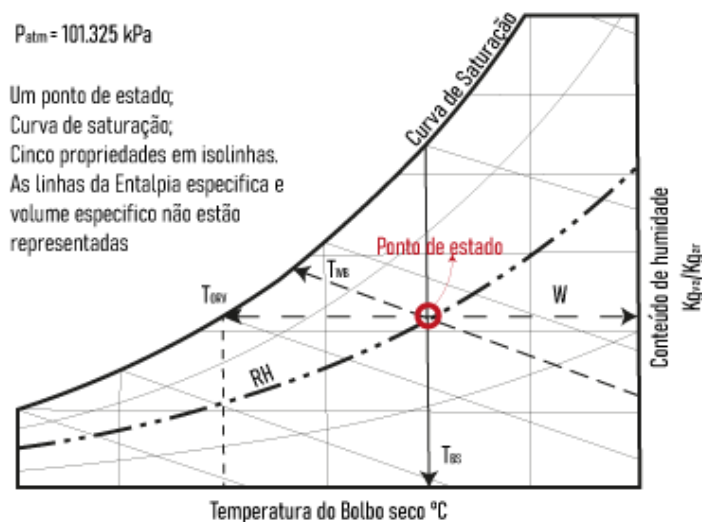


Figura 4-5 - Diagrama ou carta psicrométrica

Quando os valores das propriedades do ar (estado inicial) sofrem transformação, seja por transferência de, ou para o ar, de calor, trabalho ou massa, o ar passa para outro estado, denominado estado final, diz-se que houve um processo psicrométrico.

Existem quatro processos psicrométricos básicos identificados no diagrama da figura seguinte:

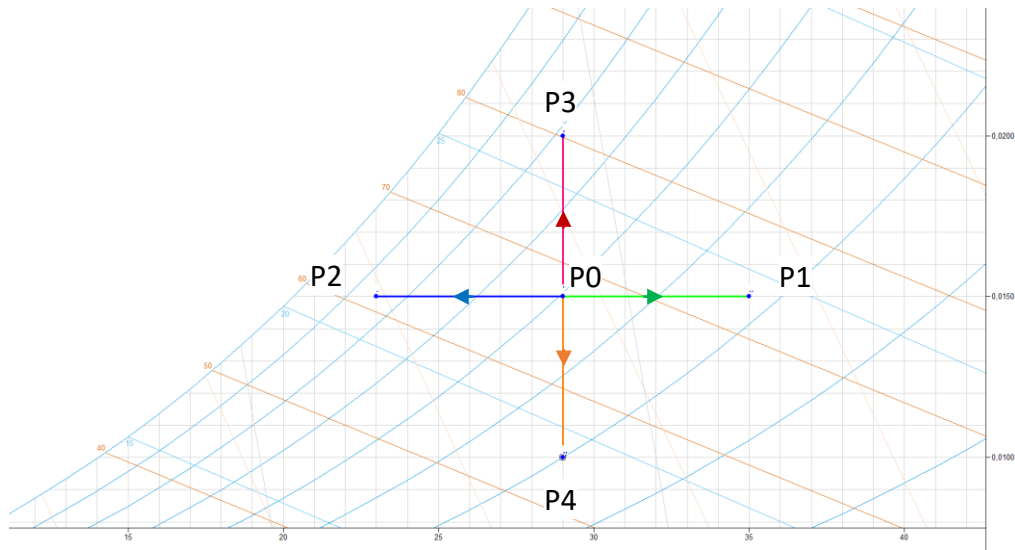


Figura 4-6 – Representação dos processos psicrométricos básicos – aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação.

Nomeadamente:

- P0 para P1 - Aquecimento sensível; pela transferência de calor para o ar, isto é, com o aquecimento do ar, mas sem alterar a quantidade de vapor existente, por outras palavras, mantendo o conteúdo de humidade. A transferência pode ser realizada de várias formas tais como uma bateria de aquecimento, uma serpentina elétrica, um permutador de calor, uma roda de calor rotativa, etc.

No diagrama psicrométrico, como se pode verificar, esta evolução é caracterizada por uma linha horizontal, que partindo do ponto de estado inicial chega ao estado final, à sua direita, mas apresenta o mesmo conteúdo de humidade, e a mesma temperatura de ponto de orvalho, no entanto, a temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmido são mais elevadas e a humidade relativa mais baixa.

O processo psicrométrico pode ser representado no diagrama da figura 4.7 na página seguinte.

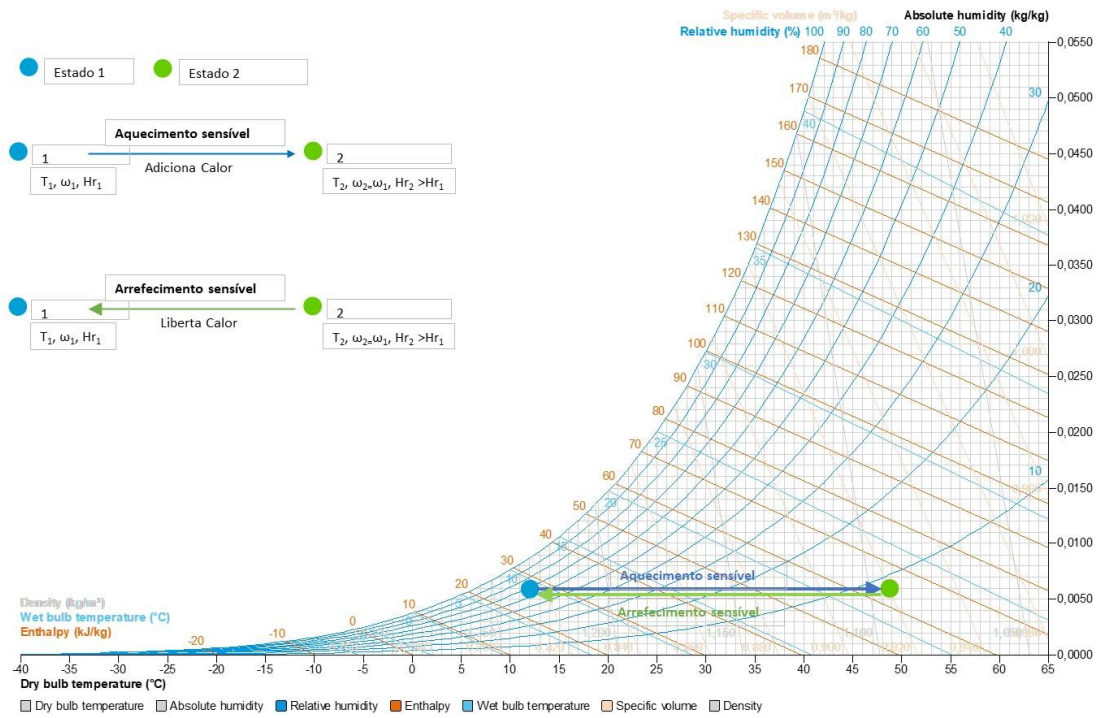


Figura 4-7 - Processo de aquecimento e arrefecimento sensível representado num diagrama psicrométrico.

Quando se aplica a primeira lei da termodinâmica resulta que:

$$\dot{Q}_s + \dot{m}_{ar,1} * h_{ar,1} + \dot{m}_{va,1} * h_{va,1} = \dot{m}_{ar,2} * h_{ar,2} + \dot{m}_{va,2} * h_{va,2}$$

Como:

$$\dot{m}_{ar,1} = \dot{m}_{ar,2} = \dot{m}_{ar}$$

e

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega$$

e

$$\left. \begin{matrix} \dot{m}_{va,1} = \dot{m}_{ar,1} * \omega_1 \\ \dot{m}_{va,2} = \dot{m}_{ar,2} * \omega_2 \end{matrix} \right\} \dot{m}_{va,1} = \dot{m}_{va,2} = \dot{m}_{ar} * \omega$$

Fica:

$$\frac{\dot{Q}_s}{\dot{m}_{ar}} = \dot{q}_s$$

$$\dot{q}_s = (h_{ar,2} - h_{ar,1}) + \omega(h_{va,2} - h_{va,1})$$

$$\dot{q}_s = (h_{ar,2} + \omega * h_{va,2}) - (h_{ar,1} + \omega * h_{va,1})$$

Pela equação da entalpia, temos que:

$$\dot{q}_s = h_2 - h_1$$

Considerando ainda que:

$$\Delta h \cong C_p * \Delta T$$

Temos que a energia fornecer é:

$$\dot{q}_s = C_{p,ar}(T_2 - T_1) + C_{p,va} * \omega(T_2 - T_1) \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

\dot{q}_s = Energia sensível por unidade de massa $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

- P0 para P2 - Arrefecimento sensível, existe a transferência de calor do ar sem alteração do conteúdo de vapor de água. A transferência de calor é realizada através de uma bateria de água fria, ou de um arrefecedor evaporativo, uma roda de calor rotativa, um permutador ar-ar entre outros.

O processo no diagrama psicrométrico é caracterizado por uma linha horizontal, que partindo do ponto de estado inicial evolui para a sua esquerda, apresentando no seu estado final uma temperatura de bolbo seco e húmido mais baixa, o mesmo conteúdo de humidade e ponto de orvalho, uma vez que não houve alteração no vapor de água, e uma humidade relativa mais elevada.

De referir que o limite da temperatura do arrefecimento sensível acontece quando a humidade relativa atinge cerca de 80%, uma vez que o arrefecimento gera condensação do vapor de água nas batedias de arrefecimento, provocando o arrefecimento do ar, mas também a sua desumidificação, alterando o conteúdo de humidade.

Para o arrefecimento sensível, representado no diagrama psicrométrico da figura anterior, a energia a ser removida do ar é calculado da mesma forma que para o aquecimento sensível.

- P0 para P3 - Humidificação somente pela adição de vapor de água (adição de energia latente - aquecimento latente), sem mudança da temperatura. Pode-se efetuar a adição de vapor através de um humidificador ou gerador de vapor.

A adição desse vapor irá alterar o conteúdo de humidade, logo a evolução no diagrama psicrométrico será uma linha vertical ascendente, iniciando-se no estado inicial e evoluindo pela linha da temperatura até ao ponto de estado final,

que irá apresentar um conteúdo de humidade, ponto de orvalho, temperatura de bolbo húmido e humidade relativa mais elevada.

- P0 para P4 - Desumidificação que consiste em retirar vapor de água sem alteração de temperatura ou arrefecimento latente. Ora, no diagrama psicrométrico essa evolução, do estado inicial ao estado final é caracterizada por uma linha vertical pois ocorre à mesma temperatura, no entanto o conteúdo de humidade, humidade relativa, temperatura de bolbo húmido e temperatura do ponto de orvalho são mais baixas.

Há depois processos, singulares, que envolvem aquecimento e alteração do vapor de água, como por exemplo o arrefecimento e a desumidificação, pois quando se arrefece o ar, a partir dos 80% - 85% de humidade começa a haver condensação e a evolução do ar passa a seguir uma linha próxima da linha de saturação, aproximando-se do valor da temperatura do fluido que circula na bateria de arrefecimento.

Pela aplicação da primeira lei da termodinâmica, em que:

\dot{m}_{va} = massa de água, e

h_{va} = entalpia da água no estado líquido à temperatura T

Temos que:

$$\dot{Q}_{1-2} = \dot{m}_{ar} * (h_2 - h_1) - \dot{m}_{va} * h_{va}$$

$$\dot{m}_{va} = \dot{m}_{ar}(\omega_1 - \omega_2)$$

Pelo que em termos específicos o calor total removido pode ser calculado por:

$$\dot{q}_{1-2} = (h_1 - h_2) - h_{H_2O}(\omega_1 - \omega_2) \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (\text{Equação 19})$$

Outro processo singular é o arrefecimento evaporativo, caracterizado como um processo adiabático em que não é adicionada ou retirada energia ao ar. Este processo segue da linha de bolbo húmido no ponto inicial em m direção à linha de saturação à esquerda. Normalmente é conseguido através do contacto com a água que tem uma temperatura próxima da temperatura de bolbo húmido. Assim a temperatura diminui à medida que o conteúdo de humidade aumenta. A energia transferida do ar para a água no

arrefecimento sensível do ar é sensivelmente igual à energia de aquecimento latente necessária para a vaporização da água.

Ainda a pulverização de água por sprays de através de ou outros meios humedecidos para colocar o ar em contacto direto com água, é exemplo de outro desses processos singulares. Os equipamentos mais conhecidos são as torres de arrefecimento tanto em contra corrente como em corrente cruzada. A evolução do processo no diagrama psicrométrico varia depende da forma como, do fluxo de massa à entrada da temperatura à entrada e dos coeficientes de transferência de calor e massa, sendo um processo psicrométrico complexo.

Depois há processos que ocorrem em sequência de dois, três, etc. processos básicos. Por exemplo após um arrefecimento e desumidificação o ar sofre um processo de aquecimento sensível. Esta combinação de processos é utilizada quando se pretende um controlo de temperatura e humidade mais rigoroso. O processo de arrefecimento e desumidificação é realizado de forma a retirar o vapor de água necessário de forma a manter a humidade relativa. Seguidamente o ar frio é aquecido através de um processo de aquecimento sensível de forma a evitar um arrefecimento do espaço.

Esta é parte de uma das sequências de processos que se irá utilizar no decorrer do presente trabalho, uma vez que se pretende um controlo da humidade relativa e da temperatura no interior da nave da piscina.

No diagrama da seguinte identifica-se os processos com os quais se irá iniciar a simulação dinâmica, nomeadamente através de uma bateria de aquecimento a qual aquece-se o ar exterior até à temperatura de insuflação necessária para que ao ser insuflado na nave da piscina consiga, através de um arrefecimento evaporativo, absorver o vapor de água em excesso, de forma a manter as condições de conforto definidas.

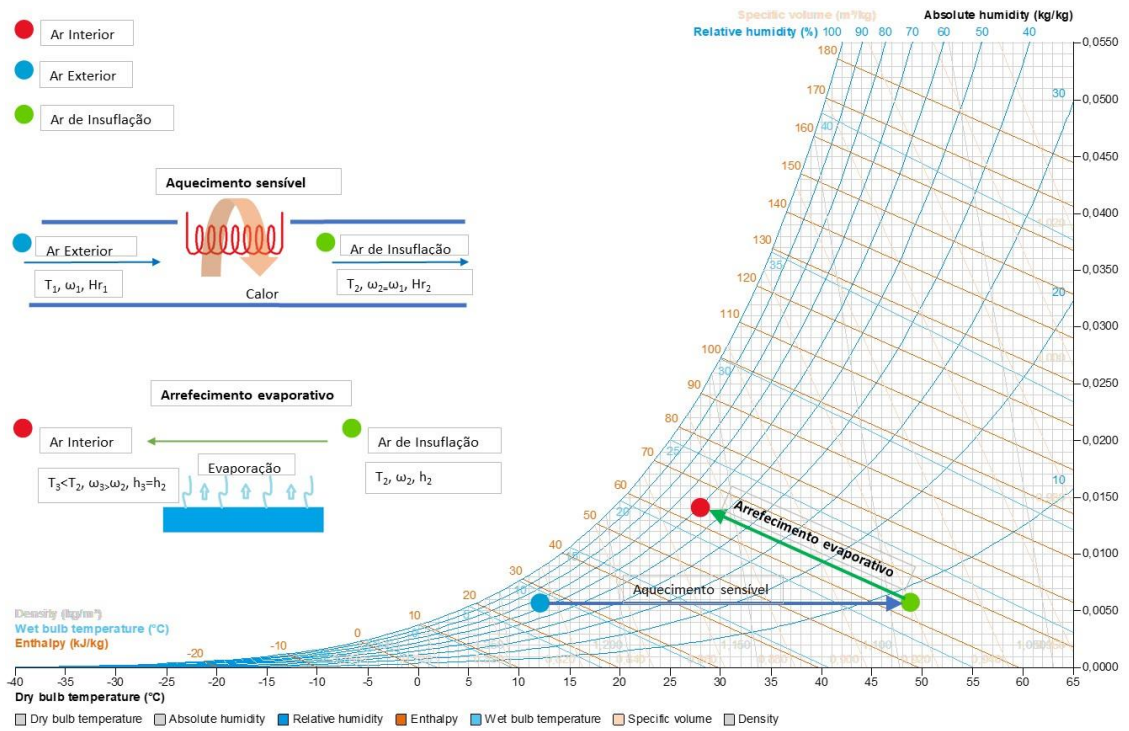


Figura 4-8 - Evolução pretendida do ar para manter as condições de conforto na nave da piscina.

4.3 DADOS CLIMÁTICOS

De forma que seja possível realizar a simulação dinâmica horária anual, é necessário conhecer os dados climáticos do local onde se encontra localizado a CDCP.

Para a simulação é necessário conhecer pelo menos dois parâmetros, temperatura e humidade relativa hora a hora, durante o período de um ano.

Com esse objetivo foram obtidos os dados referentes a um ano típico meteorológico, isto é, um conjunto de dados meteorológicos com valores de temperatura e humidade hora a hora para uma determinada localização. Os dados são gerados pelo sistema *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* ao longo de um período de 10 anos de acordo com a norma ISO 15927-4(*TMY Generator | EU Science Hub, n.d.*).

Latitude (decimais graus):	37.032
Longitude (decimais graus):	-7.911
Elevação (m):	9 m
Dados obtidos por mês , ano	
Janeiro	2007
Fevereiro	2011
Março	2013
Abril	2013
Mai	2016
Junho	2016
Julho	2010
Agosto	2013
Setembro	2010
Outubro	2012
Novembro	2016
dezembro	2013

Tabela 4-1 – Composição do ano típico gerado pelo sistema TMY da PVGIS para obtenção do ano típico meteorológico (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

Os dados gerados com os elementos referidos na tabela 4-1 foram importados para a folha de cálculo da simulação como ficheiro txt, ficando os dados aptos a serem trabalhados, de acordo com o indicado na tabela 4-2.

Data e hora	T		Hr	
	[C]	[K]	Hr	[%]
1/1/21 1:00 AM	14,15	287,30	88,81	0,888
1/1/21 2:00 AM	14,75	287,90	87,08	0,871
1/1/21 3:00 AM	14,68	287,83	85,36	0,854
1/1/21 4:00 AM	14,61	287,76	83,63	0,836
1/1/21 5:00 AM	14,54	287,69	81,90	0,819
1/1/21 6:00 AM	14,47	287,62	80,17	0,802
1/1/21 7:00 AM	14,40	287,55	78,44	0,784
1/1/21 8:00 AM	14,33	287,48	76,72	0,767

Tabela 4-2 – Excerto dos dados meteorológicos gerados pelo sistema PVGIS.

Com esta informação e com as equações psicrométricas descritas anteriormente, foi possível caracterizar a cada hora do ano o ar exterior. A tabela 4-3 da página seguinte é um excerto dos dados calculados das propriedades do ar hora a hora, no período de um ano.

Data e hora	T		Hr		P				W			h	v	ρ	m			
	[C]	[K]	RH	[%]	P _{va_sat@T}	P _{va}	P _{ar}	P _{va_sat@tbh}	W	W _s	W _{sat} *	[kJ/kg]	[m ³ /kg]	[kg/m ³]	m _{va}	m _{ar}	m _{va}	m _{ar}
					[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Kg _w /kg _{ar}]	[Kg _w /kg _{ar}]	[Kg _w /kg _{ar}]				[kg]	[kg]	[kg/h]	[kg/h]
1/1/21 1:00 AM	14,15	287,30	88,81	0,888	1614,05	1433,44	99891,56	1485,54	0,0089	0,0101	0,0093	36,70	0,8256	1,2112	0,005	0,5590	17,962	2012,42
1/1/21 2:00 AM	14,75	287,90	87,08	0,871	1677,92	1461,13	99863,87	1524,57	0,0091	0,0105	0,0095	37,75	0,8275	1,2084	0,005	0,5577	18,270	2007,67
1/1/21 3:00 AM	14,68	287,83	85,36	0,854	1670,35	1425,81	99899,19	1498,96	0,0089	0,0104	0,0093	37,12	0,8270	1,2091	0,005	0,5580	17,833	2008,87
1/1/21 4:00 AM	14,61	287,76	83,63	0,836	1662,82	1390,62	99934,38	1473,72	0,0087	0,0104	0,0092	36,48	0,8265	1,2098	0,005	0,5584	17,397	2010,06
1/1/21 5:00 AM	14,54	287,69	81,90	0,819	1655,32	1355,70	99969,30	1448,95	0,0084	0,0103	0,0090	35,86	0,8260	1,2105	0,005	0,5587	16,965	2011,26
1/1/21 6:00 AM	14,47	287,62	80,17	0,802	1647,84	1321,08	100003,92	1424,64	0,0082	0,0103	0,0089	35,23	0,8256	1,2112	0,005	0,5590	16,535	2012,44
1/1/21 7:00 AM	14,40	287,55	78,44	0,784	1640,40	1286,73	100038,27	1400,78	0,0080	0,0102	0,0087	34,62	0,8251	1,2120	0,004	0,5593	16,109	2013,62
1/1/21 8:00 AM	14,33	287,48	76,72	0,767	1632,98	1252,83	100072,17	1377,46	0,0078	0,0102	0,0086	34,01	0,8246	1,2127	0,004	0,5597	15,689	2014,80
1/1/21 9:00 AM	14,02	287,17	88,14	0,881	1600,50	1410,68	99914,32	1466,08	0,0088	0,0100	0,0091	36,21	0,8250	1,2121	0,005	0,5594	17,684	2013,79
1/1/21 10:00 AM	14,57	287,72	83,11	0,831	1658,53	1378,40	99946,60	1464,46	0,0086	0,0104	0,0091	36,25	0,8263	1,2101	0,005	0,5585	17,247	2010,59
1/1/21 11:00 AM	15,11	288,26	78,07	0,781	1717,29	1340,69	99984,31	1460,77	0,0083	0,0107	0,0091	36,20	0,8276	1,2083	0,005	0,5577	16,743	2007,58
1/1/21 12:00 PM	15,65	288,80	73,04	0,73	1777,87	1298,56	100026,44	1455,95	0,0081	0,0111	0,0091	36,07	0,8288	1,2066	0,004	0,5569	16,187	2004,67
1/1/21 1:00 PM	16,12	289,27	69,31	0,693	1832,12	1269,84	100055,16	1457,62	0,0079	0,0115	0,0091	36,09	0,8299	1,2050	0,004	0,5561	15,803	2001,99
1/1/21 2:00 PM	16,59	289,74	65,57	0,656	1887,81	1237,84	100087,16	1458,09	0,0077	0,0118	0,0091	36,06	0,8310	1,2034	0,004	0,5554	15,380	1999,38
1/1/21 3:00 PM	17,06	290,21	61,84	0,618	1944,99	1202,78	100122,22	1457,42	0,0075	0,0122	0,0091	35,98	0,8320	1,2019	0,004	0,5547	14,920	1996,84
1/1/21 4:00 PM	17,00	290,15	67,64	0,676	1937,60	1310,60	100014,40	1518,30	0,0082	0,0121	0,0095	37,63	0,8327	1,2008	0,005	0,5542	16,261	1995,10
1/1/21 5:00 PM	16,93	290,08	73,44	0,734	1929,02	1416,67	99908,33	1579,86	0,0088	0,0121	0,0099	39,26	0,8334	1,1998	0,005	0,5537	17,581	1993,47
1/1/21 6:00 PM	16,86	290,01	79,24	0,792	1920,47	1521,78	99803,22	1643,22	0,0095	0,0120	0,0103	40,87	0,8341	1,1989	0,005	0,5533	18,890	1991,85
1/1/21 7:00 PM	16,51	289,66	82,84	0,828	1878,23	1555,92	99769,08	1651,64	0,0097	0,0117	0,0103	41,06	0,8334	1,1999	0,005	0,5538	19,338	1993,58
1/1/21 8:00 PM	16,16	289,31	86,44	0,864	1836,80	1587,73	99737,27	1659,48	0,0099	0,0115	0,0104	41,21	0,8326	1,2010	0,005	0,5543	19,757	1995,35
1/1/21 9:00 PM	15,81	288,96	90,04	0,9	1796,18	1617,28	99707,72	1666,82	0,0101	0,0112	0,0104	41,33	0,8319	1,2021	0,006	0,5548	20,149	1997,18
1/1/21 10:00 PM	15,58	288,73	91,33	0,913	1769,91	1616,46	99708,54	1658,23	0,0101	0,0111	0,0103	41,08	0,8312	1,2030	0,006	0,5552	20,155	1998,78
1/1/21 11:00 PM	15,35	288,50	92,61	0,926	1743,99	1615,11	99709,89	1649,44	0,0101	0,0109	0,0103	40,83	0,8305	1,2040	0,006	0,5557	20,154	2000,40
2/1/21 12:00 AM	15,11	288,26	93,90	0,939	1717,29	1612,53	99712,47	1639,64	0,0101	0,0107	0,0102	40,54	0,8298	1,2050	0,006	0,5561	20,138	2002,12

Tabela 4-3 – Excerto da folha de calculo com as propriedades hora a hora do ar exterior

4.4 TAXA DE EVAPORAÇÃO

Como referido anteriormente, as piscinas cobertas têm, como é massivamente descrito na maioria da literatura consultada, um elevado consumo de energia dada a necessidade de se manter as condições de conforto interiores. Essa energia é na sua maioria despendida na remoção da água que evapora – desumidificação do ar, de forma a garantir a qualidade do serviço e a satisfação dos utentes.

As condições de conforto indicadas na Diretiva CNQ 23/93, para piscinas cobertas, são a temperatura do ar ambiente na nave, a qual deverá ser mantida 1 a 2 ° C acima da média da água da piscina e a humidade relativa que deverá estar compreendida entre os 50 e os 70%.

A temperatura recomendada da água situa-se entre os 24 e 27º (sendo a média de 25º) e a temperatura ambiente na ordem dos 27º com uma humidade relativa de 65%, de forma evitar condensações e causar desconforto aos utilizadores.

Como a temperatura ambiente é superior à temperatura da água vai ocorrer evaporação. A evaporação de água é um processo de transferência de calor latente e acontece como consequência da absorção do calor da água da piscina, desta forma, quando maior for a evaporação maior é a necessidade de energia para desumidificar, considerando que também se mantêm a temperatura da água da piscina. Torna-se assim fundamental a quantificação da taxa de evaporação para definir as necessidades energéticas associadas à desumidificação.

A taxa de evaporação depende de vários fatores, nomeadamente (*19-B.Eva M Al-barracín-CIATESA, n.d.*):

- Número de banhistas;
- Velocidade do ar sobre a superfície da água
- Evaporação da água que sai do corpo dos banhistas quando saem da água;
- Carga latente dos ocupantes da piscina, banhistas e publico;
- Carga latente do ar de ventilação, se bem que normalmente contribui de forma positiva para a desumidificação;

Existem várias fórmulas para cálculo da taxa de evaporação (M_e) (Shah, 2014), no presente trabalho utiliza-se a fórmula de Bernier:

$$M_e = S * [(16 + 133n) * (\omega_e - Hr * \omega_{ar})] + 0,1 * N_s \quad [kg/h] \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

M_e – Taxa de evaporação em kg/h

S – Superfície do plano de água da piscina (m²)

ω_e – Conteúdo de humidade do ar saturado à temperatura da água da piscina (kg_{va}/kg_{ar})

ω_{ar} – Conteúdo de humidade do ar saturado à temperatura do ar interior (kg_{va}/kg_{ar})

Hr – Humidade relativa

n – Número de nadadores por m² de superfície do plano de água

N – Número total de espetadores

Com é possível verificar, para o cálculo horário da taxa de evaporação é necessário conhecer outros dados, nomeadamente a ocupação e o período de funcionamento do CDPC.

4.4.1 Ocupação e funcionamento

De acordo com a informação disponibilizada, o CDPC de Faro, tem o seguinte horário e período de funcionamento:

- De 16 de setembro a 15 de julho;
- Segunda a sexta das 07:00 às 21:00 h
- Sábados das 08:00 às 20:00 horas
- Domingos das 08:00 às 14:00

Em termos de ocupação e considerou-se a lotação máxima de 249 utentes, de acordo com o regulamento do CDPC de Faro (Faro, n.d.).

A definição do perfil de ocupação foi adaptada do Decreto-lei 79/2006, tendo em consideração o período de funcionamento real, uma vez que este é diferente do perfil do decreto-lei referido.

A junção dessa informação deu origem a um perfil e uma taxa de ocupação que se compila na tabela 4-4 da página seguinte.

Hora	Perfil de ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábado	Domingo
00:00 às 01:00	0	0	0
01:00 às 02:00	0	0	0
02:00 às 03:00	0	0	0
03:00 às 04:00	0	0	0
04:00 às 05:00	0	0	0
05:00 às 06:00	0	0	0
06:00 às 07:00	0	0	0
07:00 às 08:00	25%	0	0
08:00 às 09:00	75%	25%	25%
09:00 às 10:00	75%	75%	75%
10:00 às 11:00	100%	100%	100%
11:00 às 12:00	100%	100%	100%
12:00 às 13:00	100%	100%	50%
13:00 às 14:00	100%	100%	25%
14:00 às 15:00	100%	100%	0
15:00 às 16:00	100%	100%	0
16:00 às 17:00	100%	100%	0
17:00 às 18:00	100%	100%	0
18:00 às 19:00	100%	100%	0
19:00 às 20:00	100%	50%	0
20:00 às 21:00	50%	0	0
21:00 às 22:00	0%	0	0
22:00 às 23:00	0	0	0
23:00 às 24:00	0	0	0

Tabela 4-4 - Perfil de ocupação adaptado para a realização da simulação dinâmica.

Com o perfil de ocupação definido e o período de funcionamento, através da equação da taxa de evaporação, é possível determinar a quantidade de água evaporada por hora durante o ano. Esta é a quantidade de vapor de água a remover da nave da piscina a cada momento, indicada na tabela 4-5.

	Segunda	terça	Quarta	Quinta	sexta	Sábado	Domingo
Hora	Massa de água evaporada [Kg/h]						
1	43	43	43	43	43	43	43
2	43	43	43	43	43	43	43
3	43	43	43	43	43	43	43
4	43	43	43	43	43	43	43
5	43	43	43	43	43	43	43
6	43	43	43	43	43	43	43
7	43	43	43	43	43	43	43
8	48	48	48	48	48	43	43
9	143	143	143	143	143	143	186
10	143	143	143	143	143	143	186
11	190	190	190	190	190	190	233
12	190	190	190	190	190	190	233
13	190	190	190	190	190	190	157
14	190	190	190	190	190	190	119
15	190	190	190	190	190	190	43
16	190	190	190	190	190	190	43
17	190	190	190	190	190	190	43
18	190	190	190	190	190	190	43
19	190	190	190	190	190	190	43
20	190	190	190	190	190	114	43
21	95	95	95	95	95	43	43
22	43	43	43	43	43	43	43
23	43	43	43	43	43	43	43
24	43	43	43	43	43	43	43

Tabela 4-5 - Quantidade de água evaporada por hora de acordo com o perfil de utilização e taxa de ocupação do CDPC.

4.5 CAUDAL

Existem duas necessidades diferentes a serem satisfeitas em termos de caudal:

- O caudal de ar necessário a ser introduzido para remover a massa de água produzida pela evaporação da piscina, e
- O caudal de ar mínimo de ar novo para satisfazer a legislação em vigor.

Em termos de caudal mínimo de ar novo, no caso das piscinas, a legislação atual indica o método prescritivo para a sua determinação. Desta forma o caudal mínimo de ar novo é calculado com base no valor de $20 \text{ m}^3/(\text{hora} \cdot \text{m}^2)$, em que a área de referência será a área do plano de água.

Considerando que a área da superfície do plano de água, o caudal de novo ar mínimo é de $10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, afetados de 0,8 devido à taxa de eficiência da ventilação, perfazendo assim um caudal de $12\,500 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nas várias simulações realizadas o caudal de ar novo, determinou-se que o caudal só é necessário quando existe ocupação. Assim fora do período de ocupação, o caudal será o necessário para manter as condições de interiores:

- 27°C de temperatura do ar ambiente;
- 65% de humidade relativa.

Sabendo qual o valor da diferença do conteúdo de humidade – exterior e interior, hora a hora, assim como a taxa de evaporação calculada de acordo com a ocupação, também hora a hora, como é possível verificar na tabela seguinte.

Conhecendo-se a quantidade horária de água a retirar do espaço, determina-se o caudal necessário de ar, a ver:

$$\dot{m}_{va} = \dot{m}_{ar}(\omega_1 - \omega_2)$$

pelo que sendo a taxa de evaporação é igual à massa de vapor de água a retirar, isto é \dot{m}_{va} ,

$$\dot{m}_{ar} = \frac{\dot{m}_{va}}{\Delta\omega} \quad [\text{kg/h}] \quad (\text{Equação 21})$$

Foi assim determinada hora a hora, durante um ano, os valores necessários de caudal de ar mínimo a insuflar na nave de forma a para manter as condições de conforto interior definidas anteriormente, obtendo-se os dados evidenciados na tabela 4-6, .

Data e hora	ΔW	M _e Taxa Evap.	Caudal necessário. para retirar a água		Sem ocupação Caudal = caudal necessário para tirar a água		Com ocupação Caudal = caudal é no mínimo ao prescrito ou o necessário a retirar a água		Com ocupação Caudal onde o caudal é superior ao mínimo		Com ocupação Caudal e caudal é superior a mínimo valor a não reciclar		Com Ocupação, o caudal para retirar a água é inferior ao novo		Caudal exterior com ocupação	
			[kg/h]	[kg/h]	[m³/h]	[kg/h]	[m³/h]	[kg/h]	[m³/h]	[kg/h]	[m³/h]	[kg/h]	[m³/h]	[kg/h]	[m³/h]	[kg/h]
02/09/2021	0,0024	43	17 687	15 061	17 687	15 061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0023	43	19 107	16 264	19 107	16 264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0021	43	20 654	17 573	20 654	17 573	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0020	43	21 204	18 036	21 204	18 036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0020	43	21 665	18 422	21 665	18 422	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0019	43	22 239	18 905	22 239	18 905	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0028	43	15 467	13 139	15 467	13 139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0036	43	11 802	10 018	11 802	10 018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0045	143	31 555	26 764	-	-	31 555	26 764	16 817	14 264	14 738	12 500	-	-	14 738	12 500
02/09/2021	0,0053	143	27 075	22 977	-	-	27 075	22 977	12 345	10 477	14 729	12 500	-	-	14 729	12 500
02/09/2021	0,0061	190	31 327	26 600	-	-	31 327	26 600	16 606	14 100	14 722	12 500	-	-	14 722	12 500
02/09/2021	0,0069	190	27 413	23 285	-	-	27 413	23 285	12 697	10 785	14 716	12 500	-	-	14 716	12 500
02/09/2021	0,0074	190	25 775	21 899	-	-	25 775	21 899	11 063	9 399	14 712	12 500	-	-	14 712	12 500
02/09/2021	0,0079	190	24 251	20 608	-	-	24 251	20 608	9 541	8 108	14 710	12 500	-	-	14 710	12 500
02/09/2021	0,0083	190	22 867	19 436	-	-	22 867	19 436	8 160	6 936	14 707	12 500	-	-	14 707	12 500
02/09/2021	0,0081	190	23 440	19 926	-	-	23 440	19 926	8 735	7 426	14 704	12 500	-	-	14 704	12 500
02/09/2021	0,0079	190	24 039	20 439	-	-	24 039	20 439	9 337	7 939	14 702	12 500	-	-	14 702	12 500
02/09/2021	0,0077	190	24 666	20 976	-	-	24 666	20 976	9 967	8 476	14 699	12 500	-	-	14 699	12 500
02/09/2021	0,0071	190	27 007	22 985	-	-	27 007	22 985	12 320	10 485	14 687	12 500	-	-	14 687	12 500
02/09/2021	0,0064	114	17 844	15 199	-	-	17 844	15 199	3 169	2 699	14 675	12 500	-	-	14 675	12 500
02/09/2021	0,0057	43	7 512	6 404	7 512	6 404	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0054	43	7 932	6 761	7 932	6 761	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/09/2021	0,0051	43	8 394	7 156	8 394	7 156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/09/2021	0,0048	43	8 890	7 578	8 890	7 578	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4-6 - Excerto da folha de cálculo com a determinação das necessidades horárias de caudal de ar, de acordo com as condições definidas anteriormente, para todas as horas, durante o período de um ano.

4.6 SISTEMAS DE DESUMIDIFICAÇÃO

Os sistemas de desumidificação podem ir de simples unidades compostas por uma única bateria de aquecimento, até sistemas complexos com reaproveitamento do calor do ar e da água da piscina, com bombas de calor ar / água e água / água, com recuperação do calor da extração através de uma bateria de água fria ligada ao circuito de água do evaporador da unidade de refrigeração.

Para a simulação dinâmica do presente trabalho os sistemas de desumidificação considerados são descritos seguidamente.

4.6.1.1 Desumidificação através do ar exterior

Este sistema consiste numa bateria de aquecimento que vai aquecer o ar exterior de forma que seja introduzido na nave com uma temperatura e um conteúdo de humidade que permita manter as condições de conforto na piscina.

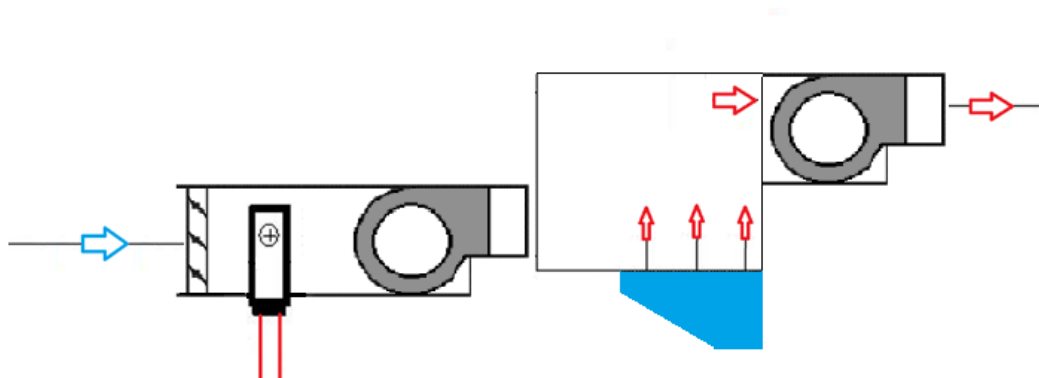


Figura 4-9 - Esquema de sistema de desumidificação por ar exterior – adaptado (19-B. Eva M Albarracin-CIATESA, n.d.)

4.6.1.2 Desumidificação através do ar exterior com recuperação

Sistema idêntico ao anteriormente descrito, mas com recuperação do calor do ar extraído da nave da piscina, de acordo com o esquema da figura seguinte, O controlo dos registos é efetuado com base no conteúdo de humidade interior e exterior e com as necessidades de ar novo.

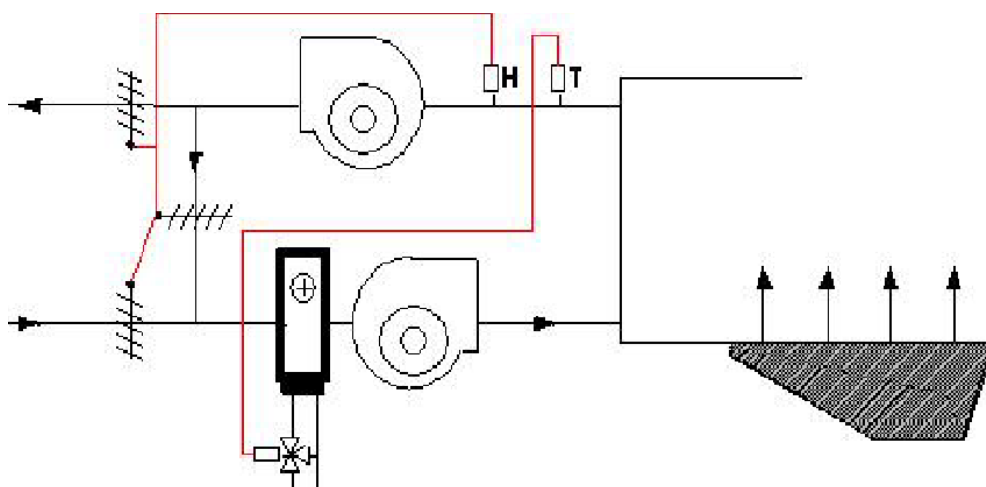


Figura 4-10 - Esquema de sistema de desumidificação por ar exterior com recuperação – fonte: (19-B. Eva M Albarracin-CIATESA, n.d.)

4.6.1.3 Desumidificação através do ar exterior com recuperação e permuta

Sistema idêntico ao anteriormente descrito, que, para além da recuperação de ar, efetua a permuta de todo o ar que é retirado da nave através de um permutador. O controlo dos registos é efetuado com base no conteúdo de humidade interior e exterior, assim como com de acordo com as necessidades de ar novo na nave da piscina.

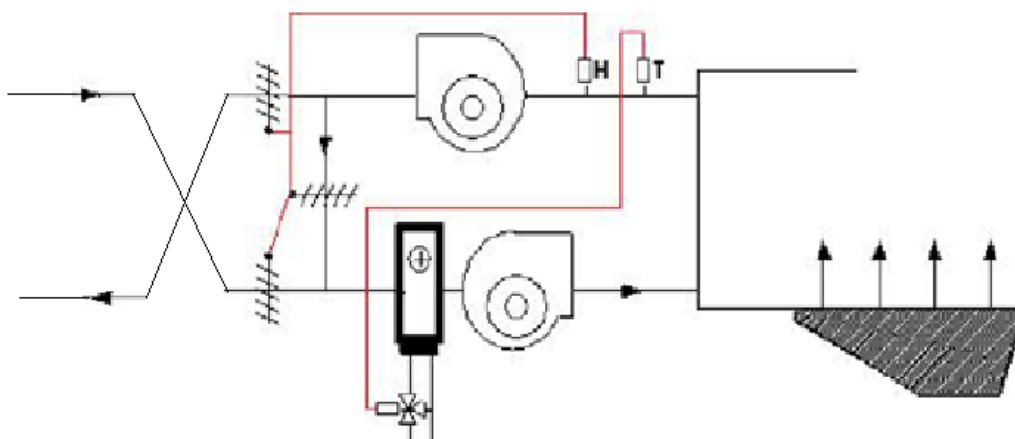


Figura 4-11 - Esquema de sistema de desumidificação por ar exterior com recuperação e permuta. Adaptado de (19-B. Eva M Albarracin-CIATESA, n.d.)

4.7 CÁLCULO GERAL DA SIMULAÇÃO

De acordo com o referido nos subpontos anteriores deste capítulo, as fórmulas descritas foram colocadas na folha de cálculo para a realização da quantificação da energia necessária durante um ano para manter as condições de conforto definidas e já anteriormente especificadas.

Tal como indicando os dados obtidos pela simulação dinâmica serão comparados ao CDPC de Faro, pelo que os dados base são:

- Localização: Faro
- Superfície do plano de água: 500 m²
 - 249 utentes/hora; de acordo com o perfil e taxa de ocupação indicados;
- Volume da nave: 4150 m³

Assim a manutenção das condições de conforto origina elevadas perdas de calor devidas principalmente à evaporação da água do tanque da piscina, na medida em que é necessário remover o vapor de água que é transferido por evaporação para o meio ambiente, mas mantendo a temperatura, sendo por isso necessário a realização de uma correta desumidificação.

Em relação às necessidades de renovação de ar, considerando que o mínimo recomendado se situa entre os 3 e as 10 renovações por hora (Guide 2016), verifica-se que é necessário, no mínimo uma renovação de 12450 m³/h.

Para além da evaporação, existem outras perdas de calor através de radiação e condução com toda a envolvente do tanque da piscina, mas que quando comparadas com as perdas por evaporação não são significativas (SEDAC, 2012).

De notar que estamos somente a tratar das necessidades de desumidificação, pelo que não se está a considerar também perdas da envolvente que podem ser compensadas através de outros sistemas de climatização.

Para além da quantificação de energia necessária de acordo com o método descrito anteriormente é também contabilizada a energia necessária ao funcionamento dos ventiladores que movimentam o ar para o interior / exterior da nave, pelo que foi considerada uma potência específica do ventilador (*SFP*) de 2000 W/(m³/s).

5 SIMULAÇÕES

5.1 SIMULAÇÃO A

A primeira simulação realizada é a que mais se aproxima da situação existente, na medida em que o sistema de desumidificação é composto por uma bateria de aquecimento e dois ventiladores, sendo o ar aquecido de forma a retirar a massa de água gerada pela evaporação do tanque e extraído para o exterior sem aproveitamento.

O caudal de ar a introduzir na nave é o necessário para remover a massa de água evaporada, no entanto, sempre que exista ocupação o caudal de ar mínimo a introduzir é o definido por lei, já referenciado como o caudal prescrito de 12 500 m³/h.

Com base nas premissas anteriores, de caudal no período de funcionamento e ocupação definidos nas premissas gerais, os dados obtidos em termos de necessidades de caudal durante um ano típico, e que utilizados no cálculo das necessidades de energia são os apresentados na figura 5-1.

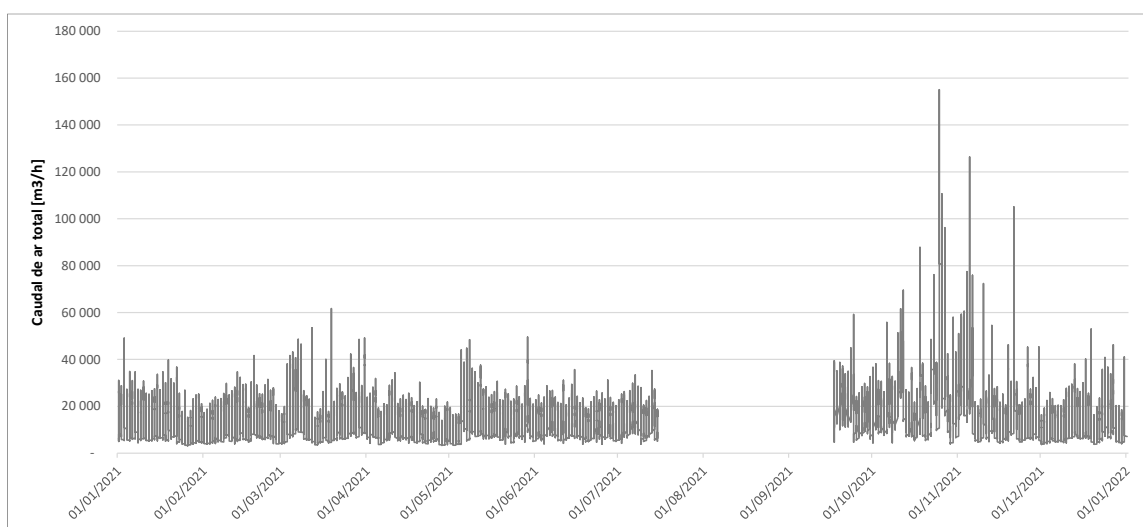


Figura 5-1 – Simulação A - Dados obtidos em relação às necessidades de caudal de ar total, de forma a satisfazer os requisitos definidos.

O gráfico anterior tem origem na folha de cálculo desenhada para o cálculo anual das necessidades de caudal, tal como indicado na Figura 4-8 - Evolução pretendida do ar para manter as condições de conforto na nave da piscina. Em termos mensais os caudais de ar calculados são apresentados graficamente em anexo, no entanto apresenta-se o gráfico do mês de fevereiro para se verificar a sua evolução na figura 5-2.

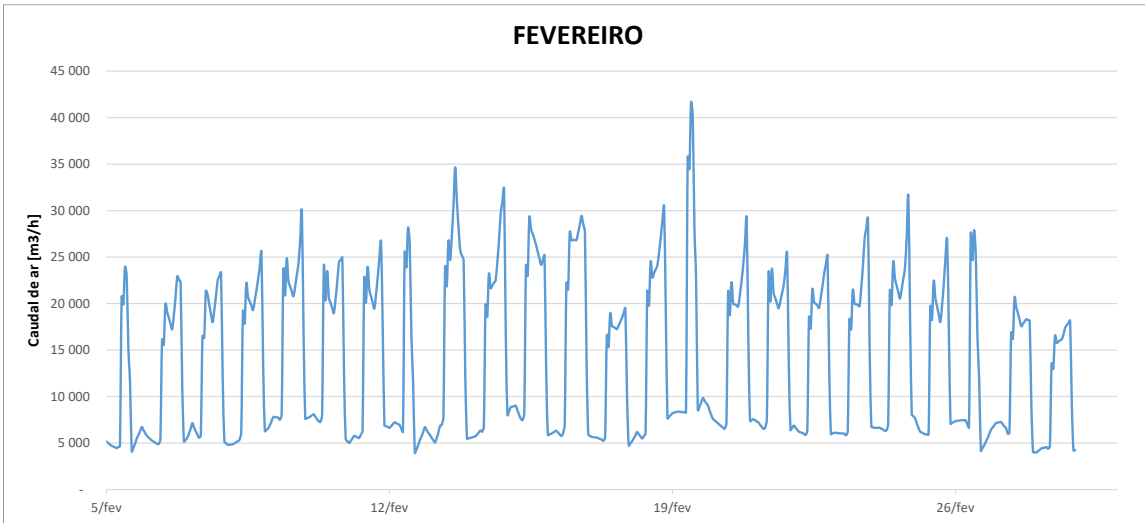


Figura 5-2 – Simulação A - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no mês de fevereiro.

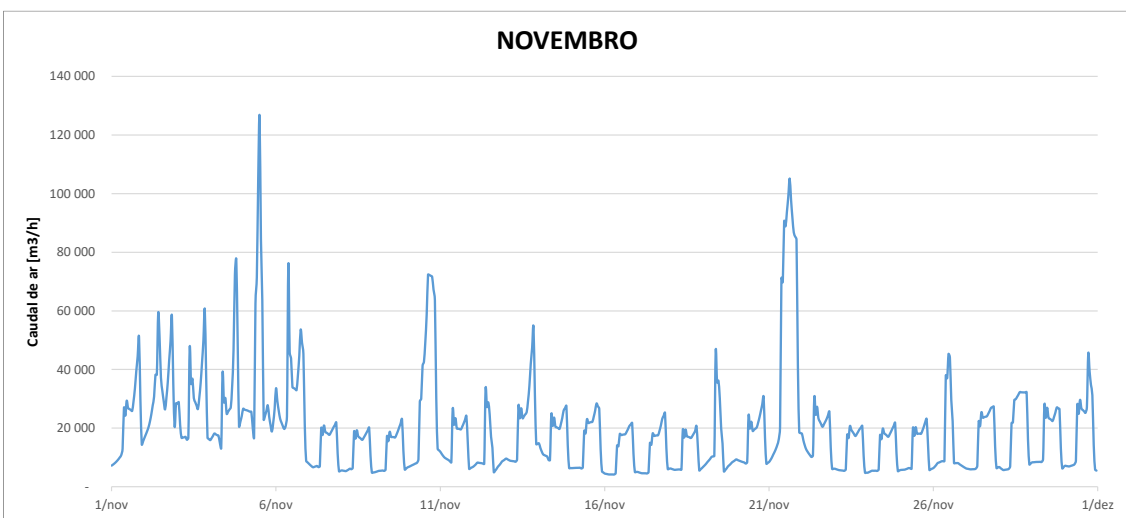
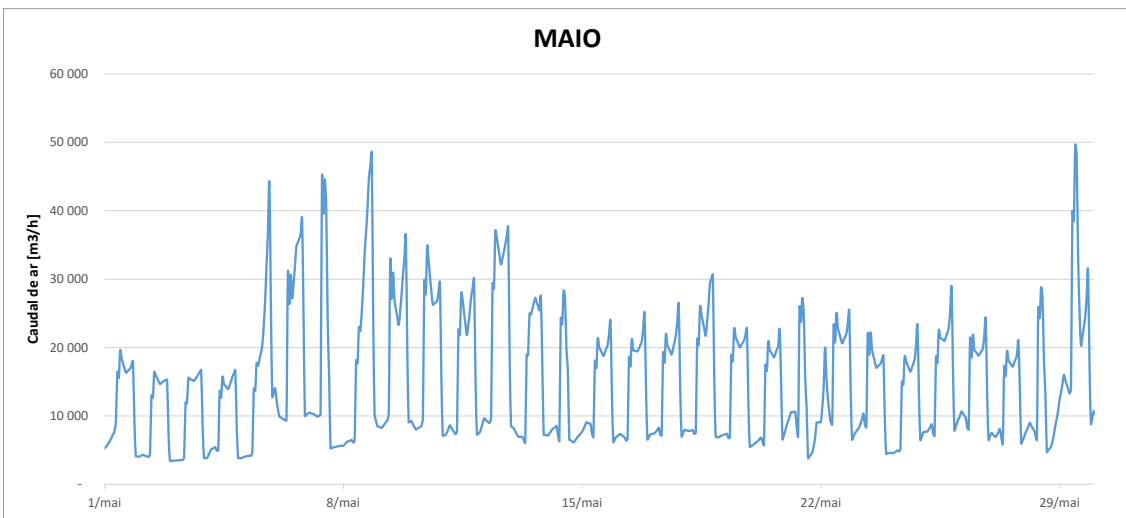


Figura 5-3 – Simulação A - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada numa semana de maio – gráfico de maio e de novembro – gráfico de novembro.

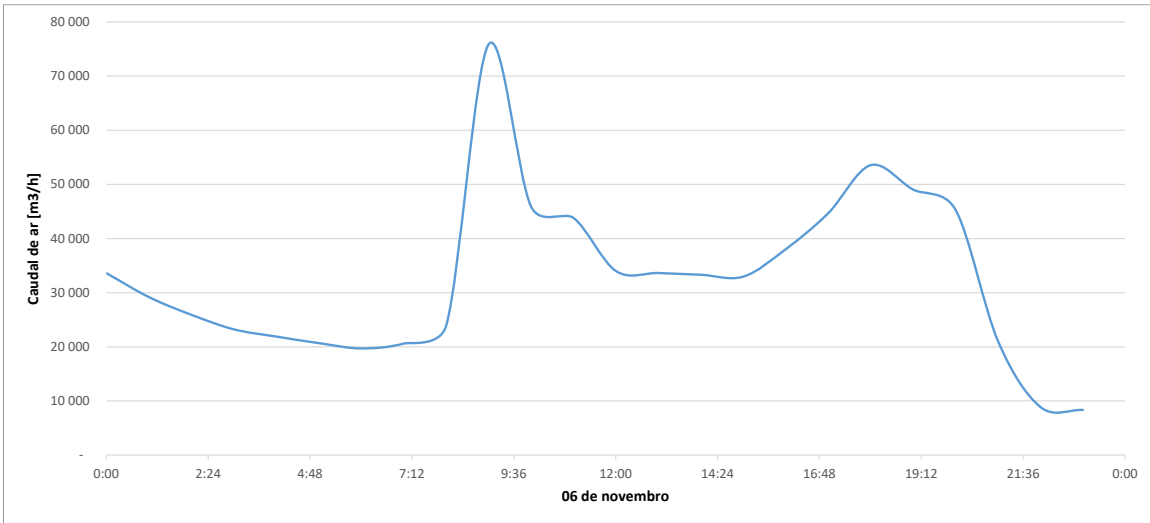


Figura 5-4 – Simulação A - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no dia 06 de novembro.

Foi calculada hora a hora as necessidades de energia, para satisfazer as condições anteriores, obtendo-se o seguinte gráfico:

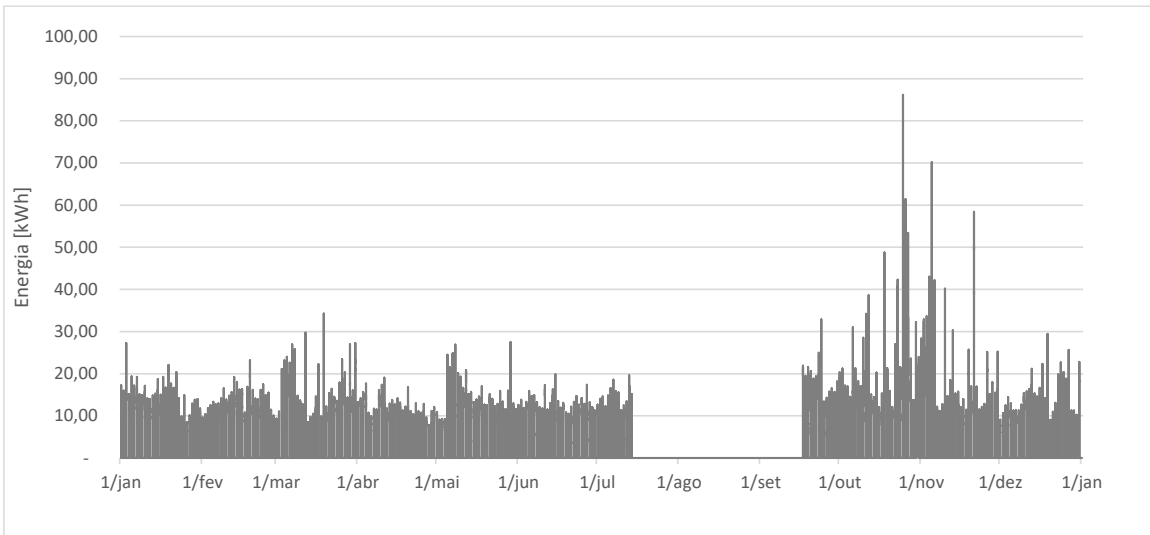


Figura 5-5 - Simulação A - Evolução anual das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas.

O gráfico anterior representado na Figura 5-5, tem origem na folha de cálculo desenhada para o cálculo anual das necessidades de energia, que teve por base as equações psicrométricas anteriormente identificadas. A título de exemplo, segue a tabela 5-1 com os dados obtidos em relação às necessidades num determinado período, sendo que a simulação foi realizada para todas as horas do ano.

Data	horas	Características do ar			Energia do ar						Energia - Ventiladores		
		T _{ins}	ΔT	Δh Ext-int	Q _s		Q _i		Q _T		Caudal	Q	
		°C	Ext - Ins	[kJ/kg]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[m3/s]	w	[kWh]
05/02/2021	1	44,43	30,22	31,05	77 904,58	21,64	110 296,05	30,64	188 200,63	52,28	1,39	2 774,04	2,77
05/02/2021	2	44,96	30,81	31,66	75 947,33	21,10	110 249,94	30,63	186 197,26	51,72	1,35	2 690,23	2,69
05/02/2021	3	45,49	31,40	32,26	74 129,62	20,59	110 206,78	30,61	184 336,40	51,20	1,31	2 612,20	2,61
05/02/2021	4	45,81	31,85	32,73	73 577,56	20,44	110 184,99	30,61	183 762,55	51,05	1,28	2 565,20	2,57
05/02/2021	5	46,15	32,33	33,21	73 074,23	20,30	110 163,47	30,60	183 237,70	50,90	1,26	2 518,82	2,52
05/02/2021	6	46,48	32,80	33,69	72 605,26	20,17	110 142,67	30,60	182 747,93	50,76	1,24	2 474,61	2,47
05/02/2021	7	46,01	32,39	33,27	74 723,19	20,76	110 182,87	30,61	184 906,06	51,36	1,27	2 535,61	2,54
05/02/2021	8	45,55	31,99	32,86	76 922,70	21,37	110 224,80	30,62	187 147,50	51,99	1,30	2 598,83	2,60
05/02/2021	9	45,10	31,61	32,47	342 449,99	95,13	476 565,59	132,38	819 015,59	227,51	5,76	11 510,23	11,51
05/02/2021	10	45,87	31,95	32,83	318 009,01	88,34	476 192,14	132,28	794 201,15	220,61	5,53	11 051,17	11,05
05/02/2021	11	46,70	32,35	33,25	370 036,64	102,79	597 752,96	166,04	967 789,60	268,83	6,65	13 309,04	13,31
05/02/2021	12	47,60	32,82	33,73	341 999,57	95,00	597 340,29	165,93	939 339,85	260,93	6,37	12 745,16	12,75
05/02/2021	13	47,80	32,78	33,70	223 121,45	61,98	401 391,59	111,50	624 513,04	173,48	4,24	8 487,50	8,49
05/02/2021	14	48,03	32,78	33,70	163 662,55	45,46	303 415,50	84,28	467 078,05	129,74	3,18	6 351,69	6,35
05/02/2021	15	48,27	32,79	33,71	57 520,21	15,98	109 962,85	30,55	167 483,05	46,52	1,14	2 278,38	2,28
05/02/2021	16	46,51	30,92	31,80	62 088,05	17,25	110 068,14	30,57	172 156,19	47,82	1,24	2 486,79	2,49
05/02/2021	17	44,73	29,03	29,85	67 664,25	18,80	110 194,79	30,61	177 859,04	49,41	1,37	2 740,71	2,74
05/02/2021	18	42,93	27,13	27,90	74 624,78	20,73	110 349,99	30,65	184 974,77	51,38	1,53	3 054,23	3,05
05/02/2021	19	41,93	26,38	27,12	81 422,89	22,62	110 474,58	30,69	191 897,46	53,31	1,63	3 258,99	3,26
05/02/2021	20	40,97	25,67	26,38	88 968,77	24,71	110 615,01	30,73	199 583,77	55,44	1,74	3 484,09	3,48
05/02/2021	21	40,04	24,99	25,67	97 370,94	27,05	110 773,57	30,77	208 144,52	57,82	1,87	3 732,36	3,73
05/02/2021	22	40,73	25,94	26,65	94 438,89	26,23	110 691,29	30,75	205 130,18	56,98	1,77	3 538,10	3,54
05/02/2021	23	41,43	26,91	27,64	91 864,26	25,52	110 615,80	30,73	202 480,06	56,24	1,68	3 362,51	3,36
05/02/2021	24	42,09	27,83	28,59	89 654,32	24,90	110 548,81	30,71	200 203,13	55,61	1,61	3 210,37	3,21
06/02/2021	1	42,57	28,39	29,17	87 426,63	24,29	110 495,41	30,69	197 922,04	54,98	1,55	3 109,23	3,11
06/02/2021	2	43,06	28,97	29,76	85 354,57	23,71	110 444,54	30,68	195 799,11	54,39	1,51	3 012,48	3,01
06/02/2021	3	43,54	29,54	30,35	83 431,57	23,18	110 396,82	30,67	193 828,39	53,84	1,46	2 922,40	2,92
06/02/2021	4	43,91	30,07	30,90	82 610,54	22,95	110 367,01	30,66	192 977,55	53,61	1,43	2 856,18	2,86
06/02/2021	5	44,29	30,62	31,46	81 854,43	22,74	110 337,80	30,65	192 192,24	53,39	1,40	2 791,61	2,79

Tabela 5-1 – Simulação A - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.

De forma que seja visível a variação da energia mensal, representa-se seguidamente na figura 5-6 graficamente os meses de fevereiro, maio e outubro. Os gráficos de todos os meses do ano em típico em estudo, encontram-se em anexo.

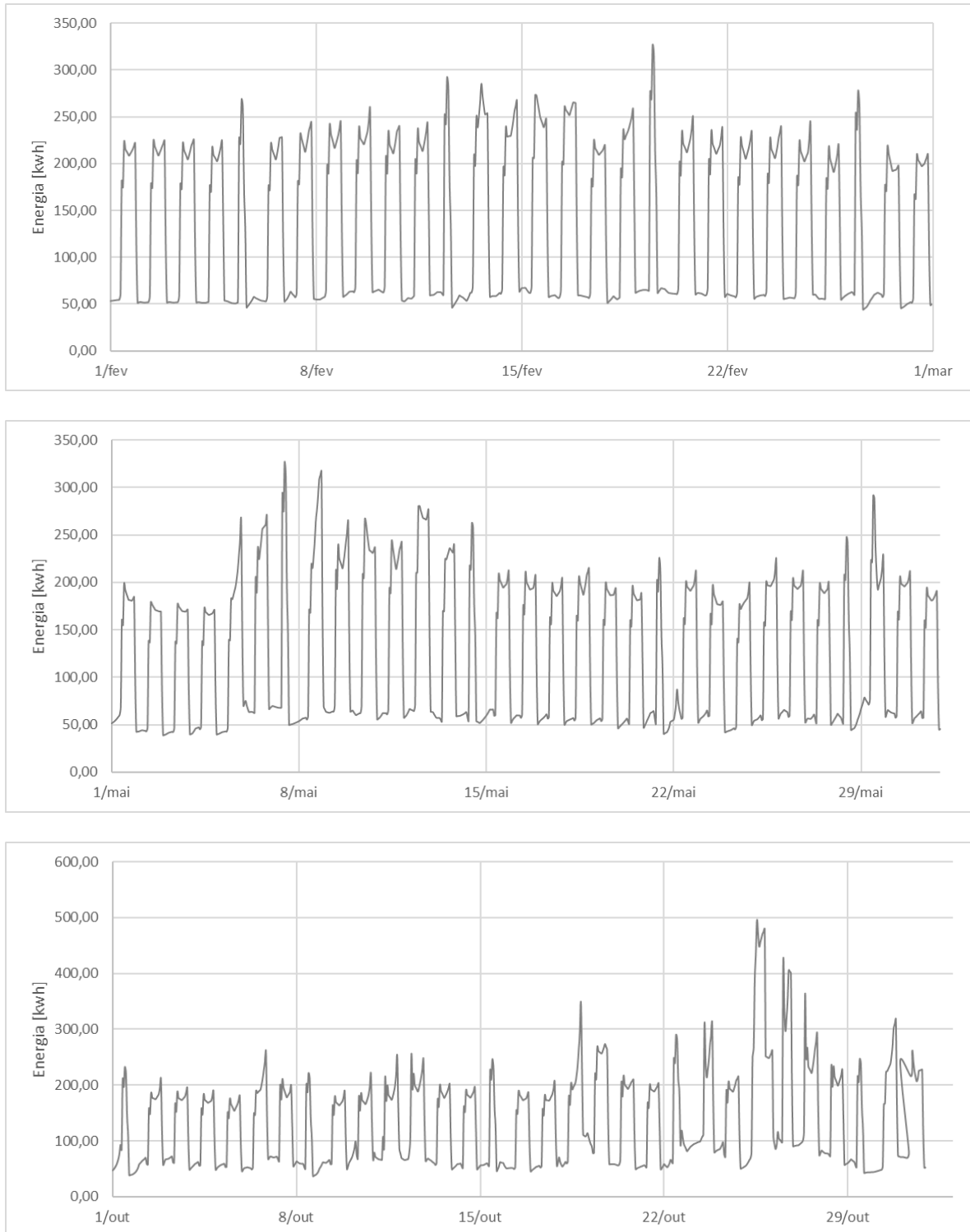


Figura 5-6 - Simulação A - Necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas, nos meses de fevereiro, maio e outubro.

As variações das necessidades de energia semanalmente deram origem a evoluções que se representam no gráfico da figura seguinte.

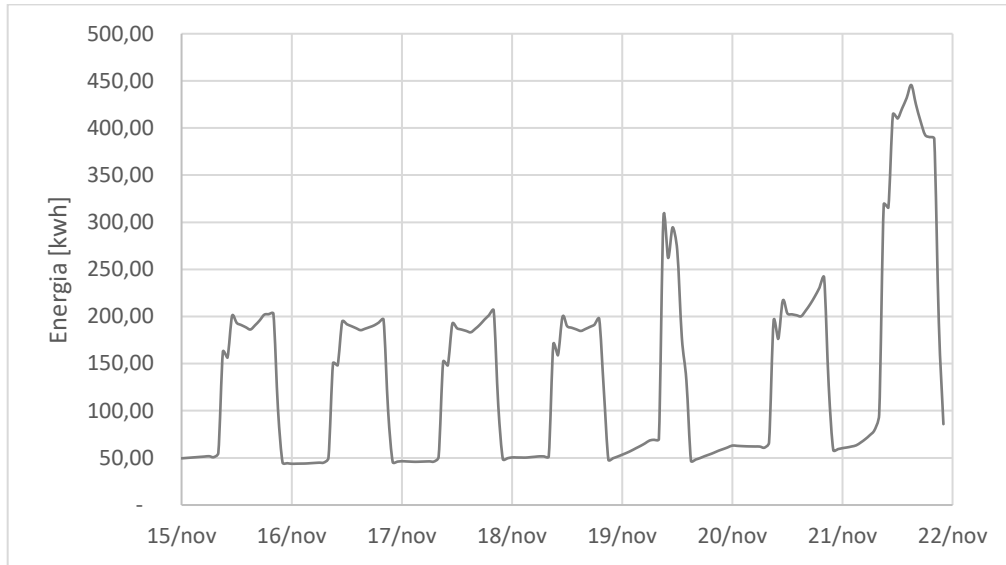


Figura 5-7 – Simulação A - Variação das necessidades semanais de energia em [kWh], referente a uma semana de novembro.

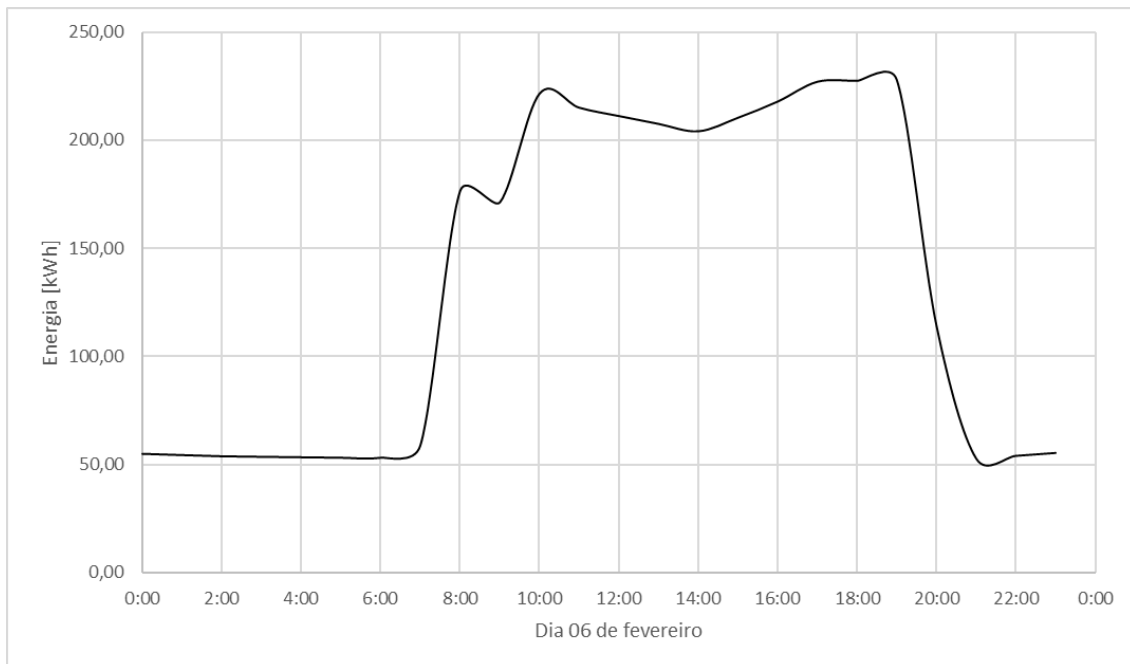


Figura 5-8 – Simulação A - Variação das necessidades diárias horárias de energia em [kWh], referente ao dia 6 de fevereiro.

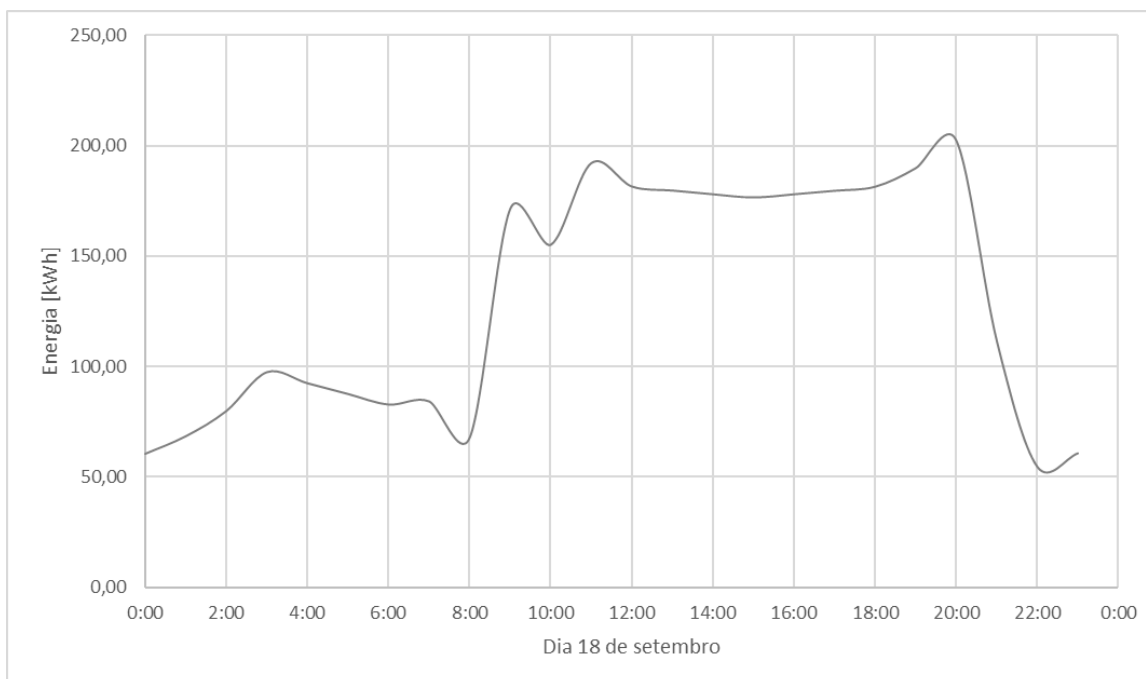


Figura 5-9 – Simulação A - Variação das necessidades diárias horárias de energia em [kWh], referente a um dia do mês de setembro.

Para o dia 6 de fevereiro, escolheu-se ao acaso a hora (10:00 h) e para o dia 18 de setembro as 16:00 horas. Introduziram-se os valores de temperatura exterior, temperatura interior e necessidades de caudal no software de apoio ao desenho dos diagramas psicrométricos, permitindo assim desenhar a evolução do ar e determinar o ponto de insuflação do ar para se conseguir retirar a massa de água no dia especificado.

	Interior	Exterior	Insuflação
Temperatura	27,0°C	13,8°C	45,9°C
Temperatura de bolbo húmido	22,0°C	11,0°C	22,2°C
Temperatura de Ponto de orvalho	19,9°C	8,8°C	8,8°C
Humidade relativa	65,0%	71,6%	11,2%
Conteúdo de humidade	0,0146kg/kg	0,0070kg/kg	0,0070kg/kg
Entalpia	64,3kJ/kg	31,6kJ/kg	64,3kJ/kg
Massa volúmica	1,166kg/m ³	1,225kg/m ³	1,102kg/m ³
Volume mássico	0,870m ³ /kg	0,822m ³ /kg	0,914m ³ /kg
Pressão	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa
Caudal	15800m ³ /h	15800m ³ /h	15800m ³ /h

Tabela 5-2 – Simulação A – Propriedades do ar nos pontos de estado representados no diagrama psicrométrico seguinte, para o dia 6 de fevereiro às 10:00 h.

Em termos de evolução psicrométrica, obtemos:

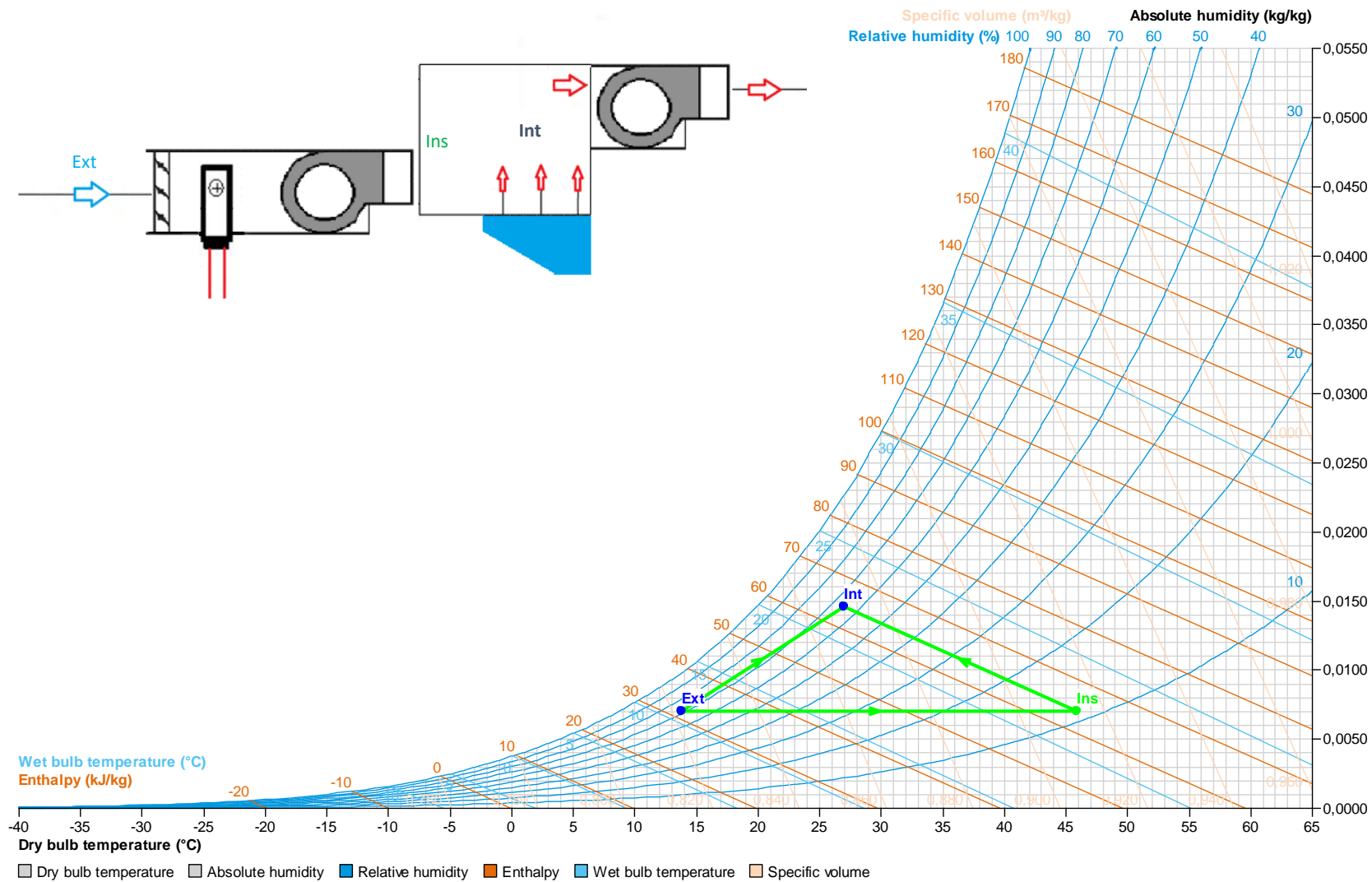


Figura 5-10 – Simulação A - Carta psicrométrica com evolução das características do ar num dia típico de fevereiro.

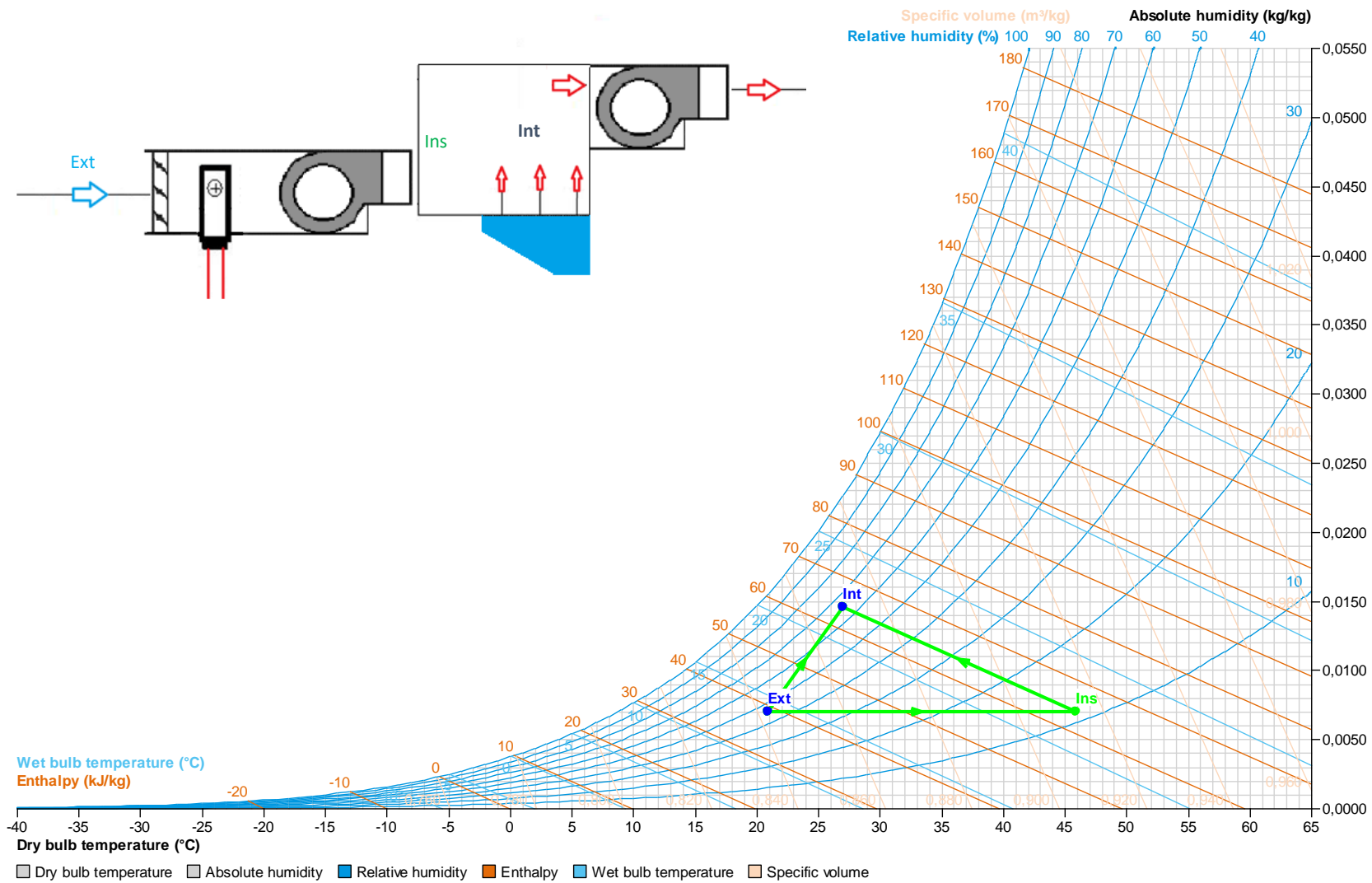


Figura 5-11 – Simulação A - carta psicrométrica com evolução das características do ar num dia de setembro.

	Int	Ext	Ins
Temperatura	27,0°C	20,9°C	45,9°C
Temperatura de bolbo húmido	22,0°C	13,9°C	22,2°C
Temperatura de Ponto de orvalho	19,9°C	8,8°C	8,8°C
Humidade relativa	65,0%	45,7%	11,2%
Conteúdo de humidade	0,0146kg/kg	0,0070kg/kg	0,0070kg/kg
Entalpia	64,3kJ/kg	38,8kJ/kg	64,3kJ/kg
Massa volúmica	1,166kg/m ³	1,195kg/m ³	1,102kg/m ³
Volume mássico	0,870m ³ /kg	0,842m ³ /kg	0,914m ³ /kg
Pressão	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa
Caudal	22030m ³ /h	22030m ³ /h	22030m ³ /h

Tabela 5-3 – Simulação A - Propriedades do ar nos pontos de estado representados no diagrama psicrométrico anterior, no dia 18 de setembro às 16:00 h.

Nas figuras anteriores referentes aos diagramas psicrométricos está representada a evolução das características do ar através de um aquecimento sensível mantendo-se o conteúdo de humidade, como é visível através da análise das tabelas que suportam esses diagramas. Ao ser insuflado na nave o ar sofre um processo de humedificação mantendo o valor da entalpia, através da absorção da massa de água existente na nave.

A temperatura de insuflação é tal que, ao ser introduzido na nave o ar tem a capacidade de se humedificar, ficando nas condições do ar interior e retirando o conteúdo de humidade necessário.

Considerando que são necessários dois ventiladores para movimentar o ar do exterior para o interior e do interior para o exterior, a energia necessária ao seu funcionamento está também contabilizada, de acordo com os parâmetros anteriormente referidos.

Assim os resultados obtidos foram:

Operação	Energia	Unidade
Desumidificação	928 600	kWh/ano
Movimentação do Ar	133 818	kWh/ano

Tabela 5-4- Simulação A- quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores.

Ao se considerar que a energia para a desumidificação é obtida através de uma caldeira a gás com uma eficiência de 95%, obtemos os seguintes resultados:

Situação A	Valor	Unidade
Energia para desumidificação	882 170	kWh/ano
Ventiladores	133 818	kWh/ano
Consumo anual total de energia	1 015 988	kWh/ano
Consumo anual total de energia por m2 plano de água	1 764	kWh/(ano.m2)

Tabela 5-5 - Simulação A - Energia total anual para manter as condições interiores utilizando um sistema com caldeira a gás para aquecimento do ar.

No entanto, se no lugar da caldeira a gás se utilizar uma bomba de calor com um COP de 3, os valores totais de energia obtidos são:

Situação B	Valor	Unidade
Energia para desumidificação	309 533	kWh/ano
Ventiladores	133 818	kWh/ano
Consumo anual total de energia	443 351	kWh/ano
Consumo anual total de energia por m2 plano de água	619	kWh/(ano.m2)

Tabela 5-6 - Simulação A, situação B - Energia total anual para manter as condições interiores utilizando uma bomba de calor para aquecimento do ar.

5.2 SIMULAÇÃO B

Para a simulação B foi concebido que o sistema aproveita a energia do ar de extração para aquecer o ar exterior. Assim, o sistema de desumidificação é composto por uma bateria de aquecimento e dois ventiladores, tal como os sistemas anteriores, mas é adicionado um permutador de placas por onde passa todo o ar extraído da nave. Não Há mistura de caudais.

Nesta situação as necessidades de caudal de ar são idênticas às necessidades da simulação A, uma vez que o conteúdo de humidade do ar exterior se mantém.

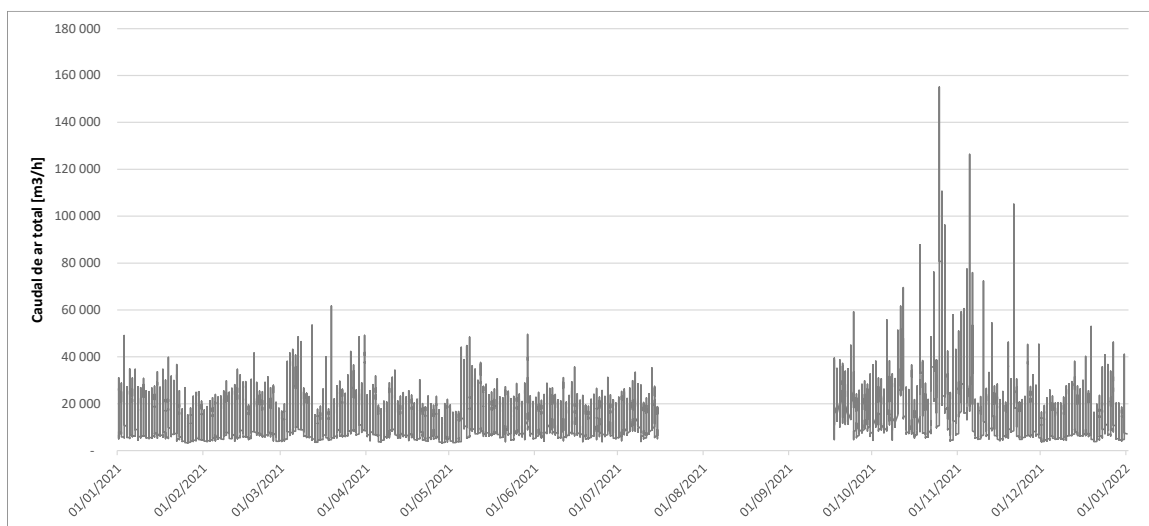


Figura 5-12 – Simulação B – Variação anual de caudal de ar exterior a ser introduzido na nave de foram a retirar a massa de água evaporada.

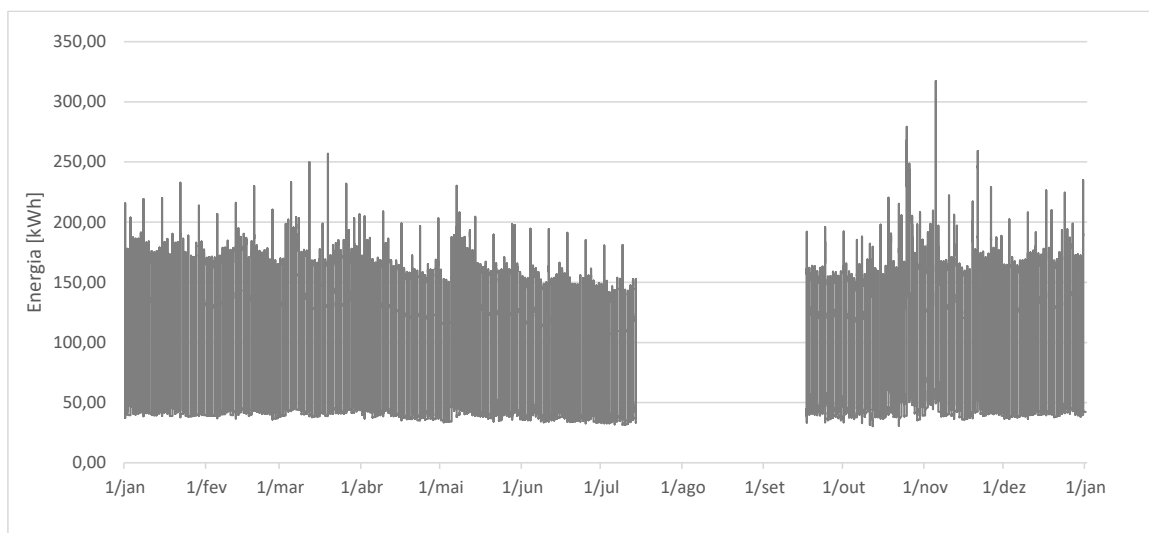


Figura 5-13 – Simulação B – Necessidades anuais de energia para manter as condições de conforto definidas.

Data	horas	Características do ar			Energia do ar						Energia - Ventiladores		
		T _{ins}	ΔT	Δh Per-int	Q _s		Q _i		Q _T		Caudal	Q	
		°C	Per - Ins	[kJ/kg]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[m3/s]	w	[kWh]
05/02/2021	1	44,43	22,54	23,27	137 306,89	38,14	3 756,53	1,04	141 063,42	39,18	1,39	2 774,04	2,77
05/02/2021	2	44,96	23,10	23,85	136 524,61	37,92	3 737,46	1,04	140 262,07	38,96	1,35	2 690,23	2,69
05/02/2021	3	45,49	23,65	24,42	135 800,43	37,72	3 717,29	1,03	139 517,72	38,76	1,31	2 612,20	2,61
05/02/2021	4	45,81	24,03	24,81	135 582,47	37,66	3 705,72	1,03	139 288,18	38,69	1,28	2 565,20	2,57
05/02/2021	5	46,15	24,42	25,21	135 384,84	37,61	3 693,40	1,03	139 078,24	38,63	1,26	2 518,82	2,52
05/02/2021	6	46,48	24,80	25,61	135 201,64	37,56	3 680,70	1,02	138 882,33	38,58	1,24	2 474,61	2,47
05/02/2021	7	46,01	24,36	25,15	136 042,79	37,79	3 702,80	1,03	139 745,59	38,82	1,27	2 535,61	2,54
05/02/2021	8	45,55	23,92	24,70	136 918,13	38,03	3 724,03	1,03	140 642,16	39,07	1,30	2 598,83	2,60
05/02/2021	9	45,10	23,50	24,26	595 730,20	165,48	16 182,31	4,50	611 912,51	169,98	5,76	11 510,23	11,51
05/02/2021	10	45,87	24,10	24,88	585 978,82	162,77	16 007,91	4,45	601 986,73	167,22	5,53	11 051,17	11,05
05/02/2021	11	46,70	24,76	25,57	724 390,46	201,22	19 872,69	5,52	744 263,15	206,74	6,65	13 309,04	13,31
05/02/2021	12	47,60	25,49	26,32	713 265,29	198,13	19 617,96	5,45	732 883,25	203,58	6,37	12 745,16	12,75
05/02/2021	13	47,80	25,60	26,43	476 701,23	132,42	13 139,00	3,65	489 840,23	136,07	4,24	8 487,50	8,49
05/02/2021	14	48,03	25,73	26,57	358 413,54	99,56	9 896,55	2,75	368 310,09	102,31	3,18	6 351,69	6,35
05/02/2021	15	48,27	25,88	26,73	129 202,84	35,89	3 573,55	0,99	132 776,38	36,88	1,14	2 278,38	2,28
05/02/2021	16	46,51	24,07	24,87	130 995,24	36,39	3 650,40	1,01	134 645,64	37,40	1,24	2 486,79	2,49
05/02/2021	17	44,73	22,25	22,98	133 210,81	37,00	3 715,97	1,03	136 926,78	38,04	1,37	2 740,71	2,74
05/02/2021	18	42,93	20,41	21,08	136 007,64	37,78	3 765,43	1,05	139 773,07	38,83	1,53	3 054,23	3,05
05/02/2021	19	41,93	19,51	20,15	138 749,72	38,54	3 792,43	1,05	142 542,15	39,60	1,63	3 258,99	3,26
05/02/2021	20	40,97	18,65	19,25	141 803,65	39,39	3 813,03	1,06	145 616,67	40,45	1,74	3 484,09	3,48
05/02/2021	21	40,04	17,82	18,38	145 214,16	40,34	3 826,81	1,06	149 040,97	41,40	1,87	3 732,36	3,73
05/02/2021	22	40,73	18,62	19,21	144 002,68	40,00	3 832,55	1,06	147 835,23	41,07	1,77	3 538,10	3,54
05/02/2021	23	41,43	19,42	20,04	142 943,05	39,71	3 832,14	1,06	146 775,19	40,77	1,68	3 362,51	3,36
05/02/2021	24	42,09	20,18	20,83	142 037,85	39,46	3 826,57	1,06	145 864,42	40,52	1,61	3 210,37	3,21
06/02/2021	1	42,57	20,70	21,36	141 135,21	39,20	3 816,77	1,06	144 951,98	40,26	1,55	3 109,23	3,11
06/02/2021	2	43,06	21,22	21,90	140 297,60	38,97	3 805,21	1,06	144 102,81	40,03	1,51	3 012,48	3,01
06/02/2021	3	43,54	21,74	22,44	139 522,42	38,76	3 792,10	1,05	143 314,52	39,81	1,46	2 922,40	2,92
06/02/2021	4	43,91	22,17	22,89	139 191,10	38,66	3 783,08	1,05	142 974,18	39,72	1,43	2 856,18	2,86
06/02/2021	5	44,29	22,62	23,35	138 887,08	38,58	3 772,98	1,05	142 660,06	39,63	1,40	2 791,61	2,79

Tabela 5-7 – Simulação B - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.

Na tabela 5-7 estão representados alguns dos dados obtidos em relação às necessidades de energia para um determinado período, sendo que a simulação foi realizada para todas as horas do ano.

Em termos mensais podemos ver a evolução dessas necessidades em fevereiro e novembro nos gráficos da figura 5.14. Em anexo encontram-se os gráficos mensais referentes a um ano.

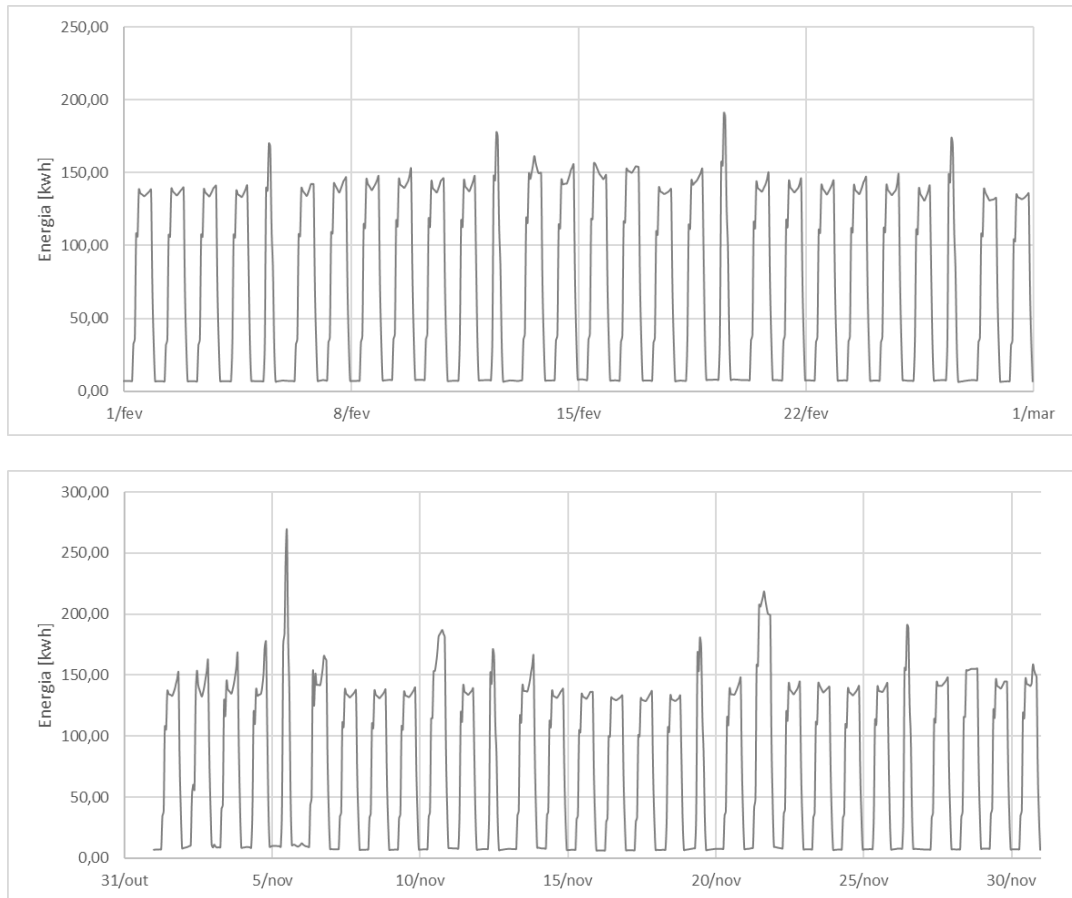


Figura 5-14 – Simulação B - Dados obtidos referentes à evolução da energia necessária para manter as condições interiores durante os meses de fevereiro e novembro.

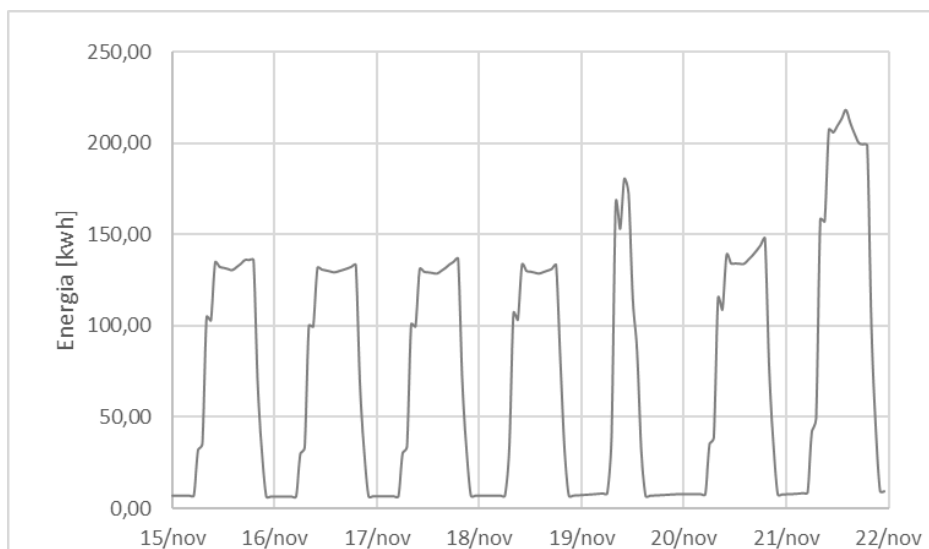


Figura 5-15 – Simulação B – Evolução das necessidades de energia durante uma semana no mês de novembro

Em termos semanais a evolução é apresentada no gráfico da figura 5-15 para uma semana do mês de novembro e em termos diários, os dados obtidos estão representados no gráfico da figura 5-16 e referem-se ao dia 20 mês de fevereiro.

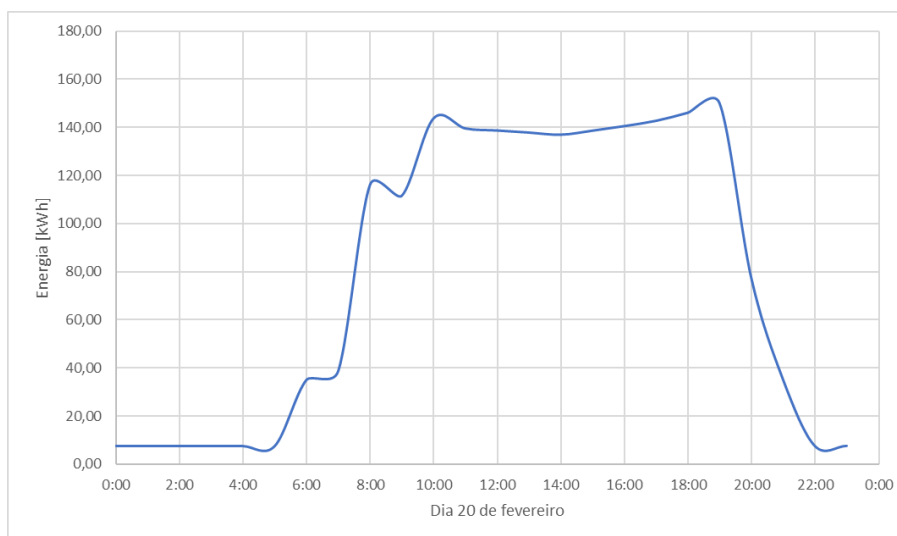


Figura 5-16 – Simulação B – Evolução das necessidades de energia durante o dia 20 do mês de fevereiro.

A representação da evolução do ar no diagrama psicrométrico da figura seguinte diz respeito ao dia 20 de fevereiro às 16:00. Os pontos de estado dessa evolução estão indicados da tabela seguinte e foram obtidos através do software de apoio para a representação psicrométrica, e são coincidentes com os dados obtidos através da folha de cálculo.

	Int¹	Ext²	Permuta³	Ins⁴
Temperatura	27,0°C	15,6°C	22,4°C	45,7°C
Temperatura de bolbo húmido	22,0°C	11,8°C	14,6°C	22,2°C
Temperatura de Ponto de orvalho	19,9°C	8,9°C	9,0°C	9,0°C
Humidade relativa	65,0%	64,3%	42,2%	11,5%
Conteúdo de humidade	0,0146kg/kg	0,0071kg/kg	0,0071kg/kg	0,0071kg/kg
Entalpia	64,3kJ/kg	33,6kJ/kg	40,6kJ/kg	64,3kJ/kg
Massa volúmica	1,166kg/m ³	1,217kg/m ³	1,189kg/m ³	1,102kg/m ³
Volume mássico	0,870m ³ /kg	0,827m ³ /kg	0,847m ³ /kg	0,914m ³ /kg
Pressão	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa
Caudal	19796m ³ /h	19796m ³ /h	19796m ³ /h	19796m ³ /h

Tabela 5-8 – Simulação B - Propriedades do ar nos pontos de estado para o dia ao dia 20 de fevereiro às 16:00.

¹ Int - Propriedades do ar interior;

² Ext – Propriedades do ar exterior

³ Permuta – Propriedades do ar exterior, à saída do permutador

⁴ Ins – Propriedades do ar a ser insuflado na nave

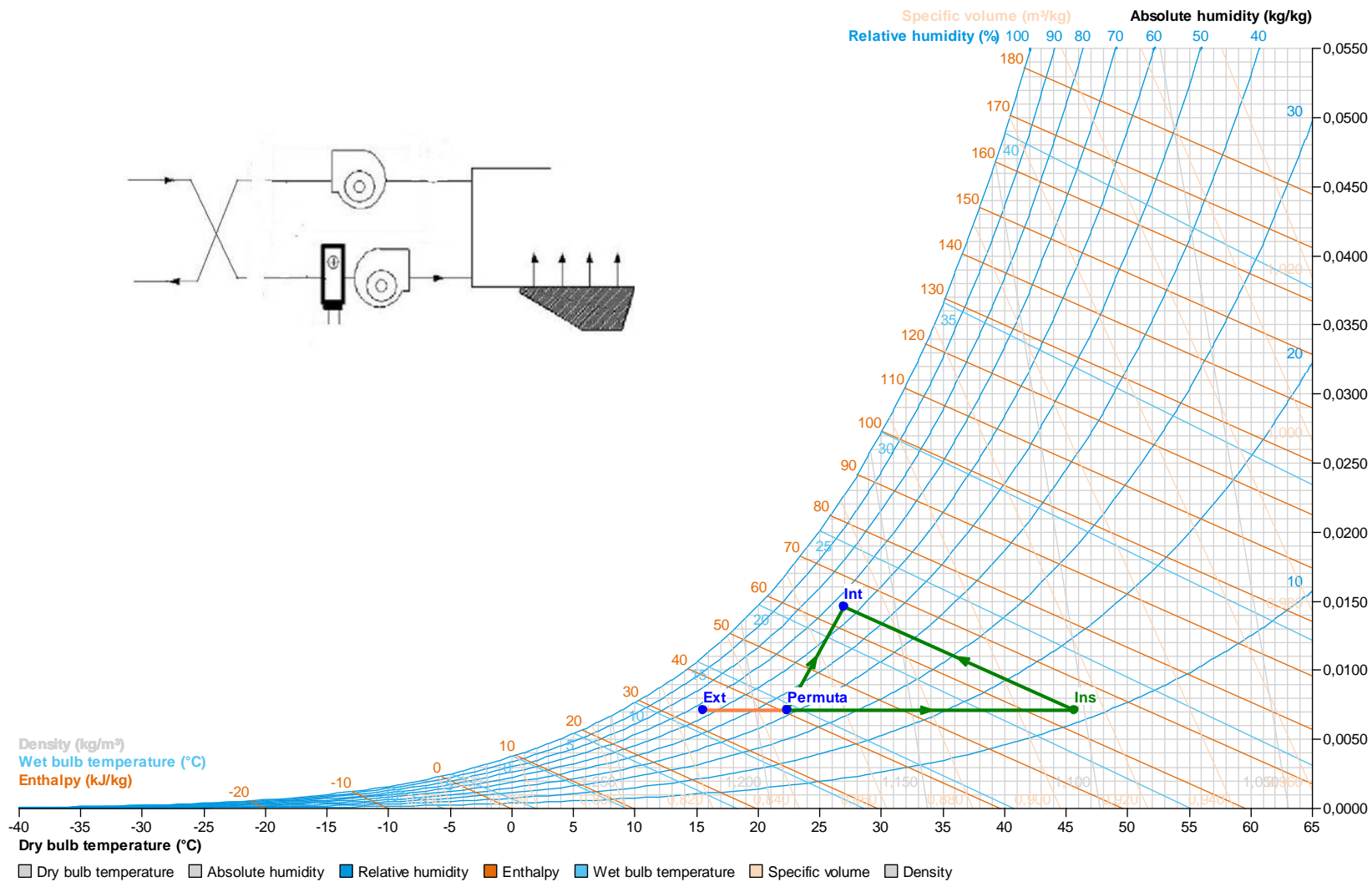


Figura 5-17 – Simulação B - carta psicrometrica com evolução das características às 16:00 do dia 20 de fevereiro.

A evolução decorrente desta simulação e identificada na figura 5-17, permite que o ar interior “Int” ao sair da nave transfira a sua temperatura para o ar exterior, identificado no ponto “Ext”, sem que exista, no entanto, mistura de caudal, permitindo ao ar exterior evoluir para o ponto “permuta” sem adição de mais energia para esse efeito. O ar que se encontra com as condições do ponto “C” é aquecido até à temperatura de insuflação – “ins”.

Nesta simulação considerou-se que são necessários dois ventiladores para movimentar o ar do exterior para o interior e do interior para o exterior, contabilizando-se a energia necessária ao seu funcionamento tal como anteriormente referido. Em termos de permutador, considerou-se uma permuta com uma eficiência de 60%.

Assim os resultados obtidos foram:

Operação	Energia	Unidade
Desumidificação	510 483	kWh/ano
Movimentação do Ar	141 770	kWh/ano

Tabela 5-9- Simulação B - Quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores.

Se se utilizar uma bomba de calor com um COP de 3, os valores totais de energia obtidos são:

Simulação B	Valor	Unidade
Energia	170 161	kWh/ano
Ventiladores	141 770	kWh/ano
Consumo anual total de energia	311 931	kWh/ano
Consumo anual total de energia por m² plano de água	340	kWh/(ano.m ²)

Tabela 5-10 - Simulação B - Energia total anual para manter as condições interiores utilizando uma bomba de calor para aquecimento do ar.

5.3 SIMULAÇÃO C

Nesta simulação, o sistema designado para a desumidificação da piscina é composto por uma bateria de aquecimento e dois ventiladores, mas, o ar que excede o caudal mínimo de ar novo necessário ($12500 \text{ m}^3/\text{h}$), irá condensar de forma a perder água e ser misturado com o ar exterior. Esta mistura de ar irá ser introduzido na nave nas condições necessárias a manter as condições de conforto interiores. A evolução total do caudal pode ser visualizada no gráfico da figura 5-18. Nos gráficos das figuras 5-19, 5-20 e 5-21, estão representadas as necessidades mensais, semanais e diárias de caudal reciclado e exterior.

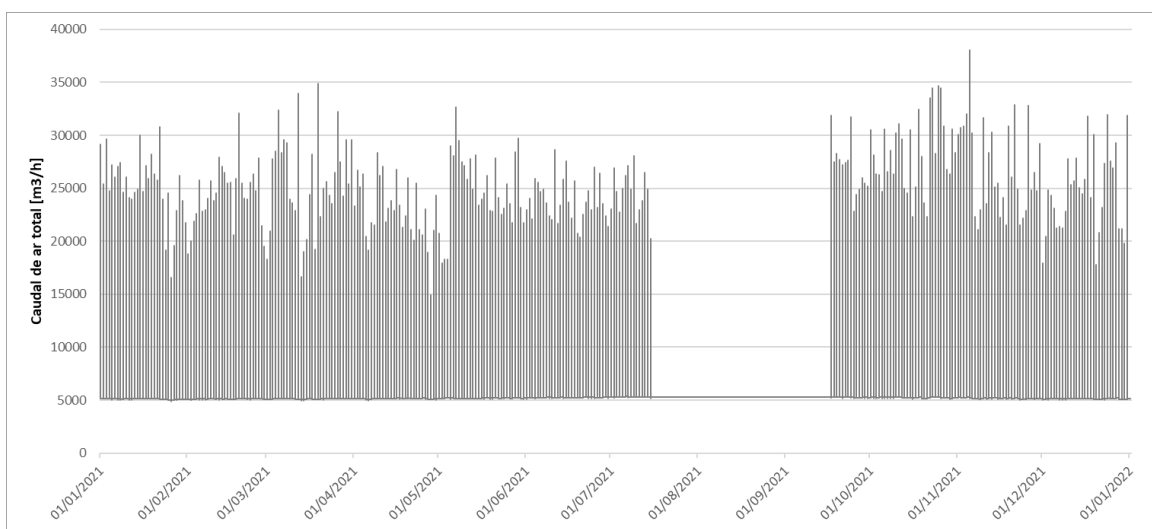


Figura 5-18 – Simulação C – Evolução da necessidade de caudal de ar total durante o ano.

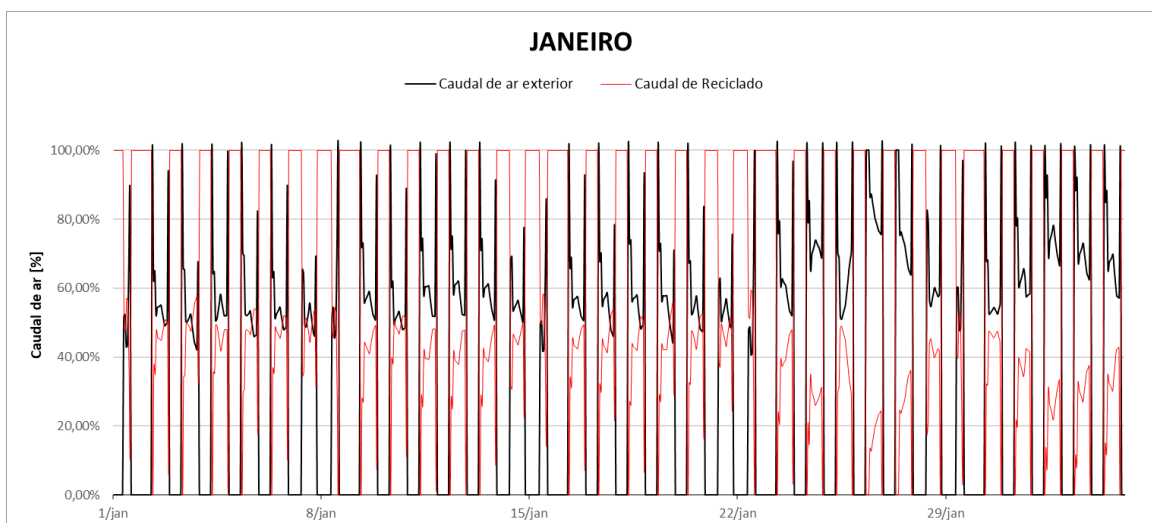


Figura 5-19 – Simulação C – Evolução da necessidade, em percentagem, de caudal de ar exterior e reciclado durante o mês de janeiro.

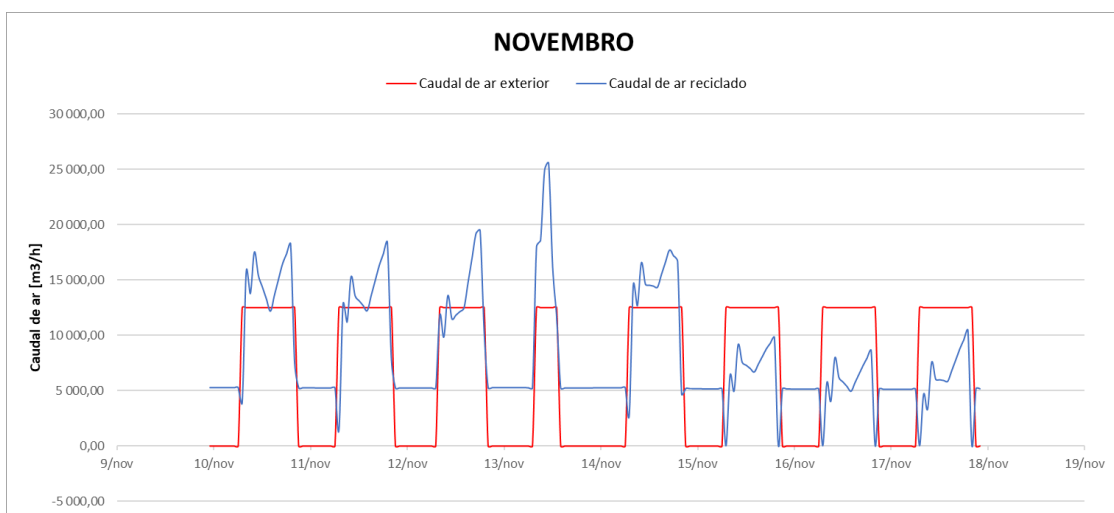
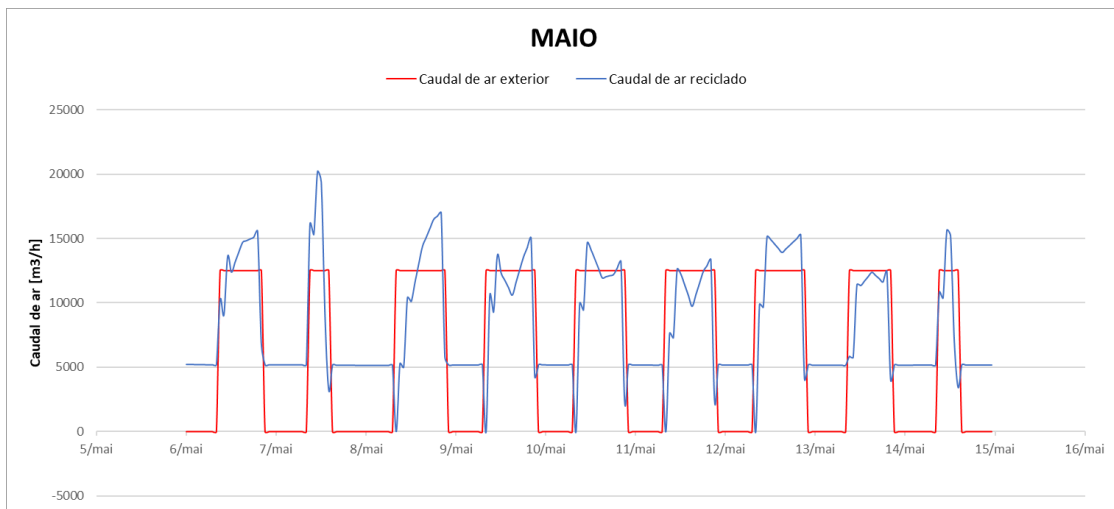


Figura 5-20 – Simulação C - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário, exterior e reciclado, para retirar a massa de água evaporada numa semana de maio – gráfico de maio e de novembro – gráfico de novembro.

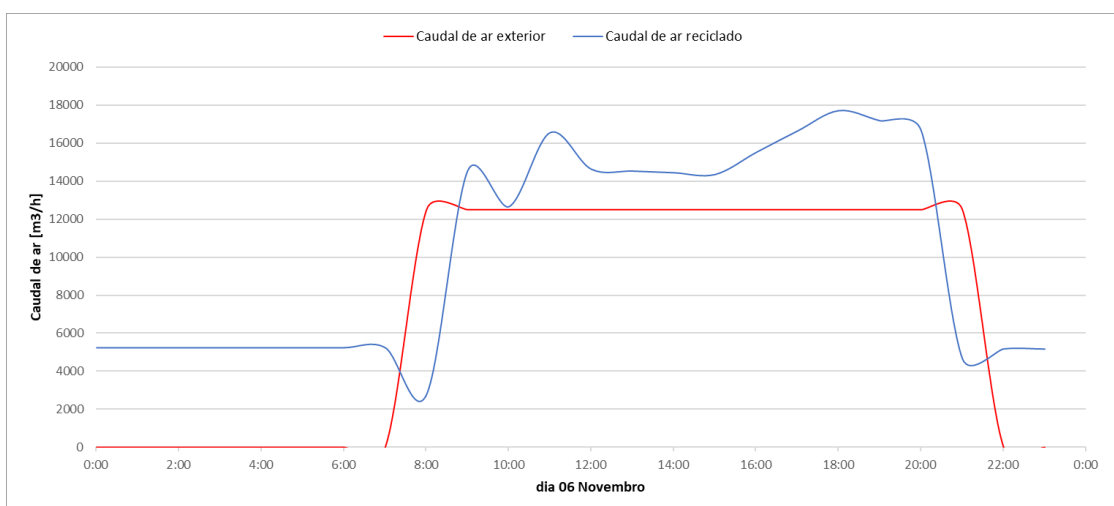


Figura 5-21 – Simulação C- Dados da evolução do caudal de ar, reciclado e exterior, necessário para retirar a massa de água evaporada no dia 6 de novembro.

Para satisfazer estas condições foi calculada hora a hora durante um ano as necessidades de energia obtendo-se o gráfico da figura 5-22.

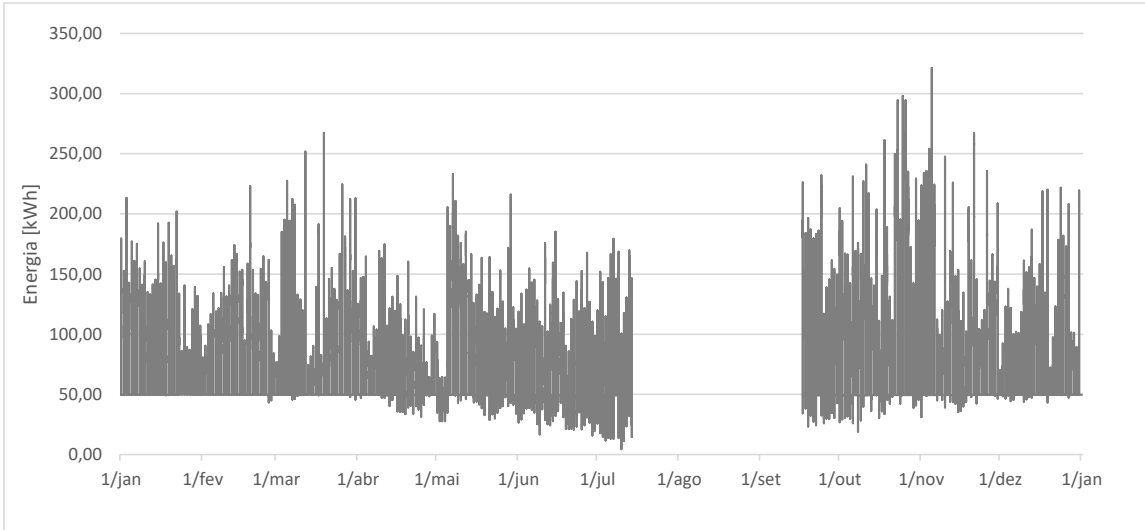


Figura 5-22 - Simulação C - Evolução anual das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas.

Na tabela 5-11 está representado um excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação realizada de acordo com os parâmetros definidos.

Data	Hora	T	$\Delta h_{\text{Ex-Int}}$	$\Delta h_{\text{rec-Int}}$	$\Delta h_{\text{mist-Int}}$	Energia ar reciclado				Energia ar exterior		Energia. Mistura - insuflação		Energia		SFP					
						[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	Arrefecimento e desumidificação		Aquecer o ar reciclado		Exterior até mistura		mistura		TOTAL		caudal	Energia	
									[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]		[m3/s]	w
05/02/2021	1	44,43	28,84	34,91	34,91	213 862,45	59,41	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 639,81	49,62	1,42	2838,36	2,84			
05/02/2021	2	44,96	29,66	34,91	34,91	213 903,85	59,42	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 650,61	49,63	1,42	2836,79	2,84			
05/02/2021	3	45,49	30,44	34,91	34,91	213 943,45	59,43	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 661,41	49,63	1,42	2835,23	2,84			
05/02/2021	4	45,81	31,05	34,91	34,91	213 954,25	59,43	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 684,81	49,64	1,42	2833,35	2,83			
05/02/2021	5	46,15	31,66	34,91	34,91	213 965,05	59,44	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 710,01	49,64	1,42	2831,35	2,83			
05/02/2021	6	46,48	32,26	34,91	34,91	213 975,85	59,44	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 735,21	49,65	1,41	2829,37	2,83			
05/02/2021	7	46,01	32,73	34,91	34,91	213 999,25	59,44	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 746,01	49,65	1,41	2829,63	2,83			
05/02/2021	8	45,55	33,21	34,91	34,91	214 024,45	59,45	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 756,81	49,66	1,41	2829,89	2,83			
05/02/2021	9	45,10	33,69	34,91	34,91	214 049,65	59,46	181 197,59	50,33	-	-	-	-	373 728,90	103,81	5,90	11796,12	11,80			
05/02/2021	10	45,87	33,27	34,91	34,91	214 060,45	59,46	181 197,59	50,33	-	-	-	-	352 214,63	97,84	5,75	11494,14	11,49			
05/02/2021	11	46,70	32,86	34,91	34,91	214 071,25	59,46	181 197,59	50,33	-	-	-	-	482 324,61	133,98	7,15	14306,45	14,31			
05/02/2021	12	47,60	32,47	34,91	33,48	148 501,59	41,25	134 048,89	37,24	15 281,08	4,24	299 896,29	228 561,70	454 911,73	126,37	6,98	13957,49	13,96			
05/02/2021	13	47,80	32,83	34,91	33,65	133 616,57	37,12	120 155,70	33,38	12 543,58	3,48	309 101,85	223 539,43	227 510,76	63,20	4,41	8828,54	8,83			
05/02/2021	14	48,03	33,25	34,91	34,11	282 563,50	78,49	248 780,30	69,11	13 004,96	3,61	251 431,94	227 245,54	178 935,99	49,70	3,47	6944,44	6,94			
05/02/2021	15	48,27	33,73	34,91	34,33	262 239,37	72,84	229 498,72	63,75	9 017,07	2,50	259 137,16	222 969,66	178 411,22	49,56	1,42	2843,84	2,84			
05/02/2021	16	46,51	33,70	34,91	33,96	28 858,44	8,02	26 491,22	7,36	3 930,50	1,09	405 019,27	198 882,53	178 391,42	49,55	1,42	2848,15	2,85			
05/02/2021	17	44,73	33,70	34,91	33,70	-	-	-	-	-	-	510 667,07	178 935,99	178 371,62	49,55	1,43	2852,52	2,85			
05/02/2021	18	42,93	33,71	34,91	34,91	213 725,65	59,37	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 353,62	49,54	1,43	2856,82	2,86			
05/02/2021	19	41,93	31,80	34,91	34,91	213 705,85	59,36	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 398,62	49,56	1,43	2856,20	2,86			
05/02/2021	20	40,97	29,85	34,91	34,91	213 686,05	59,36	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 443,62	49,57	1,43	2855,51	2,86			
05/02/2021	21	40,04	27,90	34,91	34,91	213 668,05	59,35	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 488,62	49,58	1,43	2854,75	2,85			
05/02/2021	22	40,73	27,12	34,91	34,91	213 713,05	59,37	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 535,42	49,59	1,43	2850,90	2,85			
05/02/2021	23	41,43	26,38	34,91	34,91	213 758,05	59,38	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 584,02	49,61	1,42	2846,94	2,85			
05/02/2021	24	42,09	25,67	34,91	34,91	213 803,05	59,39	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 630,81	49,62	1,42	2843,15	2,84			
06/02/2021	1	42,57	26,65	34,91	34,91	213 849,85	59,40	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 645,21	49,62	1,42	2841,48	2,84			
06/02/2021	2	43,06	27,64	34,91	34,91	213 898,45	59,42	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 661,41	49,63	1,42	2839,69	2,84			
06/02/2021	3	43,54	28,59	34,91	34,91	213 945,25	59,43	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 677,61	49,63	1,42	2837,91	2,84			
06/02/2021	4	43,91	29,17	34,91	34,91	213 959,65	59,43	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 706,41	49,64	1,42	2835,65	2,84			
06/02/2021	5	44,29	29,76	34,91	34,91	213 975,85	59,44	181 197,59	50,33	-	-	-	-	178 737,01	49,65	1,42	2833,28	2,83			

Tabela 5-11 – Simulação C - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação

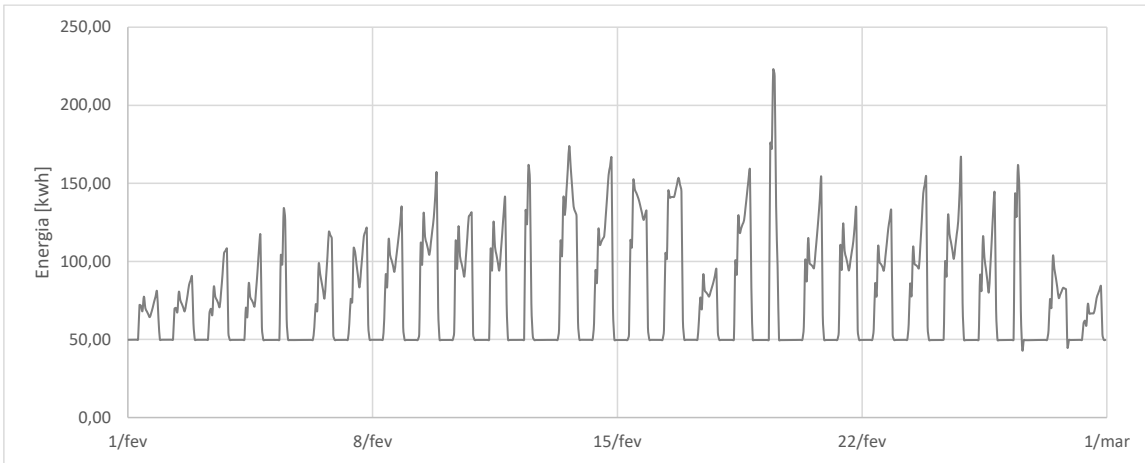


Figura 5-23 – Simulação C - Dados obtidos referentes à evolução da energia necessária para manter as condições interiores no mês de fevereiro.

Em relação à evolução da necessidade de energia para manter as condições interiores, estão em anexo os gráficos referentes a todos os meses estudados.

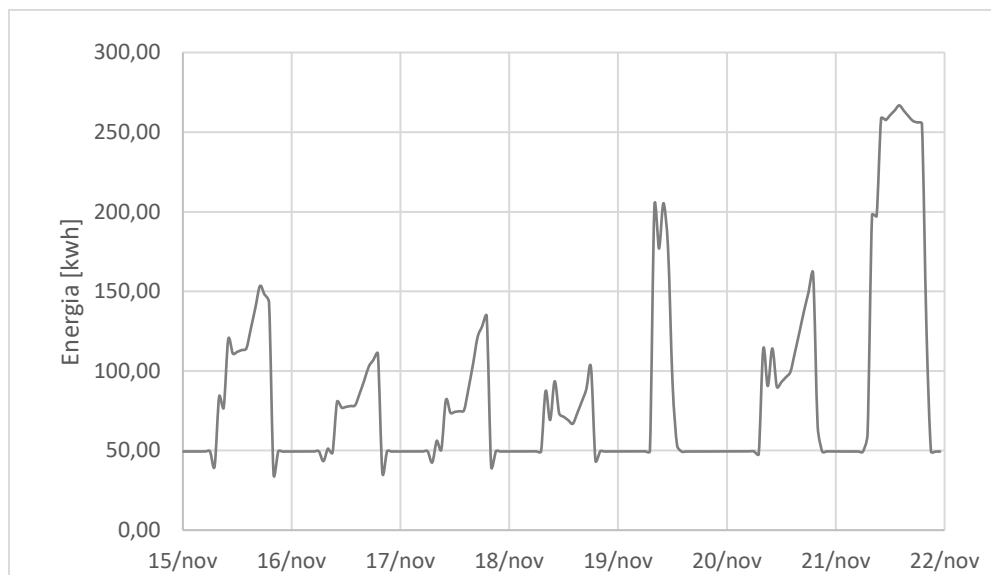


Figura 5-24 – Simulação C - Variação das necessidades semanais de energia em [kWh], referente a uma semana de novembro.

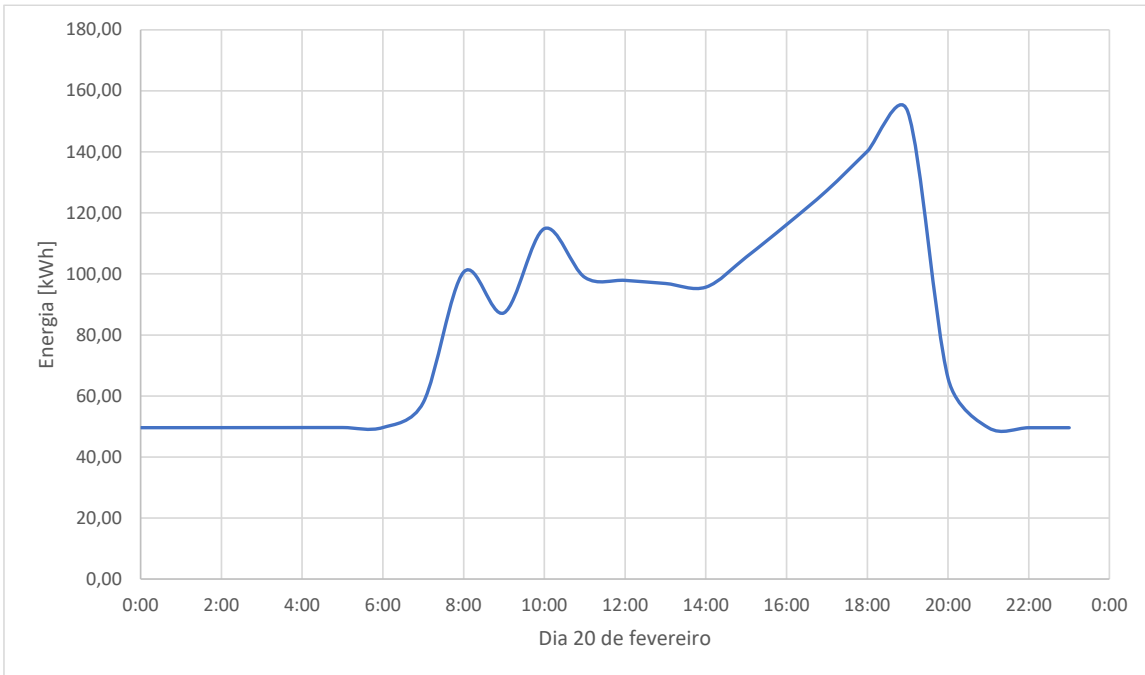


Figura 5-25 – Simulação C - Variação das necessidades diárias horárias de energia em [kWh], referente ao dia 20 de fevereiro.

Para simplificação dos cálculos foi considerado que o ar reciclado irá passar por uma bateria de arrefecimento e desumidificação, que iria colocar o ar com uma temperatura de 10° C e uma humidade relativa de 100%.

Com base nesses valores, foram colocadas as informações, no software de apoio à construção dos diagramas psicrométricos, referentes às 14:00 do dia 20 de fevereiro e obtiveram-se os pontos de estado da tabela seguinte que permitiram efetuar a evolução psicrométrica representada na figura seguinte:

	Int ⁵1	Ext⁶	R⁷	Mistura⁸	Ins⁹
Temperatura	27,0°C	13,6°C	10,0°C	12,4°C	43,3°C
Temperatura de bolbo húmido	22,0°C	12,2°C	10,0°C	11,5°C	22,2°C
Temperatura de Ponto de orvalho	19,9°C	11,2°C	10,0°C	10,8°C	10,8°C
Humidade relativa	65,0%	85,5%	100,0%	90,2%	14,8%
Conteúdo de humidade	0,0146kg/kg	0,0083kg/kg	0,0076kg/kg	0,0081kg/kg	0,0081kg/kg
Entalpia	64,3kJ/kg	34,6kJ/kg	29,3kJ/kg	32,8kJ/kg	64,3kJ/kg
Massa volúmica	1,166kg/m ³	1,225kg/m ³	1,241kg/m ³	1,230kg/m ³	1,110kg/m ³
Volume mássico	0,870m ³ /kg	0,823m ³ /kg	0,812m ³ /kg	0,819m ³ /kg	0,908m ³ /kg
Pressão	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa	101325,0Pa
Caudal	18886m ³ /h	12500m ³ /h	6386m ³ /h	18886m ³ /h	18886m ³ /h

Tabela 5-12 – Simulação C – Propriedades do ar nos pontos de estado, na evolução em estudo, para o dia 20 de fevereiro às 14:00h.

O caudal de ar necessário para retirar a massa de ar da nave da piscina passa por uma bateria de arrefecimento, que desumidifica e condensada o ar. Esse processo, que realiza a desumidificação do mesmo, colocando esse caudal de ar à temperatura de 10º com 100 % de humidade.

O ar nessa condição é misturado com o ar exterior, na proporção de 70% de ar exterior com 30% de ar interior, e aquecido até à temperatura de insuflação necessária para manter as condições de conforto anteriormente definidas. Em termos de diagrama psicrométrico obtemos:

⁵ Int - Propriedades do ar interior;

⁶ Ext – Propriedades do ar exterior

⁷ R – Propriedades do ar à saída da bateria

⁸ Mistura – Propriedades da mistura de ar exterior, com o ar que sai da bateria de arrefecimento

⁹ Ins – Propriedades do ar a ser insuflado na nave

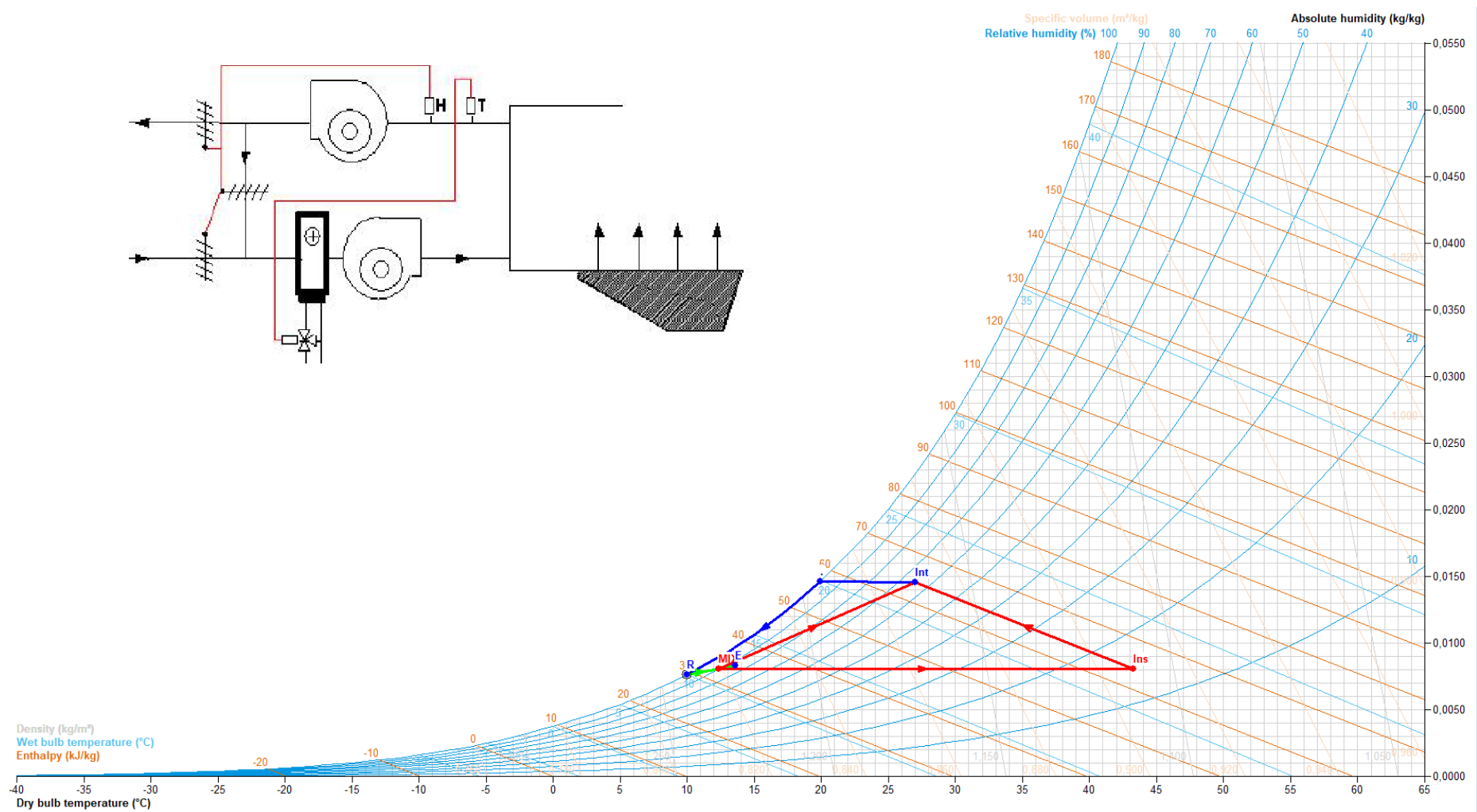


Figura 5-26 – Simulação C – Diagrama psicrométrico com evolução das características do ar às 14:00 h do dia 20 de fevereiro.

Assim os resultados obtidos foram:

Operação	Energia	Unidade
Desumidificação	572 557	kWh/ano
Movimentação do Ar	107 122	kWh/ano

Tabela 5-13- Simulação C - Quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores.

Caso o sistema utilize uma bomba de calor com um COP de 3, os valores totais para o consumo de energia, de acordo com a simulação efetuada são:

Simulação C	Valor	Unidade
Energia	190 852	kWh/ano
Ventiladores	107 122	kWh/ano
Consumo anual total de energia	297 974	kWh/ano
Consumo anual total de energia por m² plano de água	382	kWh/(ano.m ²)

Tabela 5-14 - Simulação C - energia total anual para manter as condições interiores utilizando uma bomba de calor para arrefecimento e aquecimento do ar.

5.4 SIMULAÇÃO D

Nesta simulação, aplicou-se uma cobertura no plano de água à simulação B, com permutador de calor. Considerou-se que, após uma hora da ocupação e até uma hora antes da ocupação o plano de água estava tapado com uma cobertura, a qual irá impedir a evaporação durante esse período.

Em termos de caudal, as necessidades são iguais às simulações A e B, só que quando não existe ocupação e a cobertura está colocada, não há necessidades de caudal. Assim, as necessidades de caudal estão representadas no gráfico da figura 5-27:

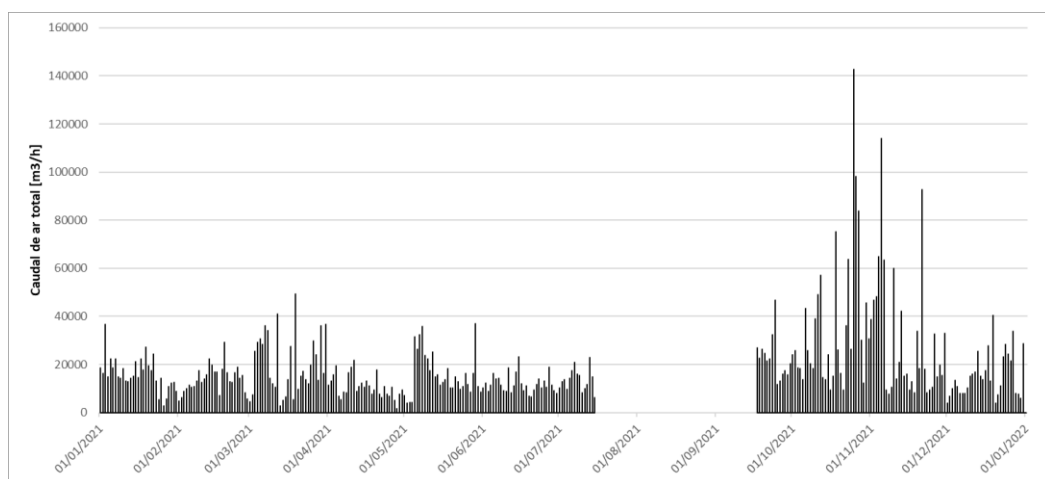


Figura 5-27 – Simulação D – Evolução da necessidade de caudal de ar total durante o ano.

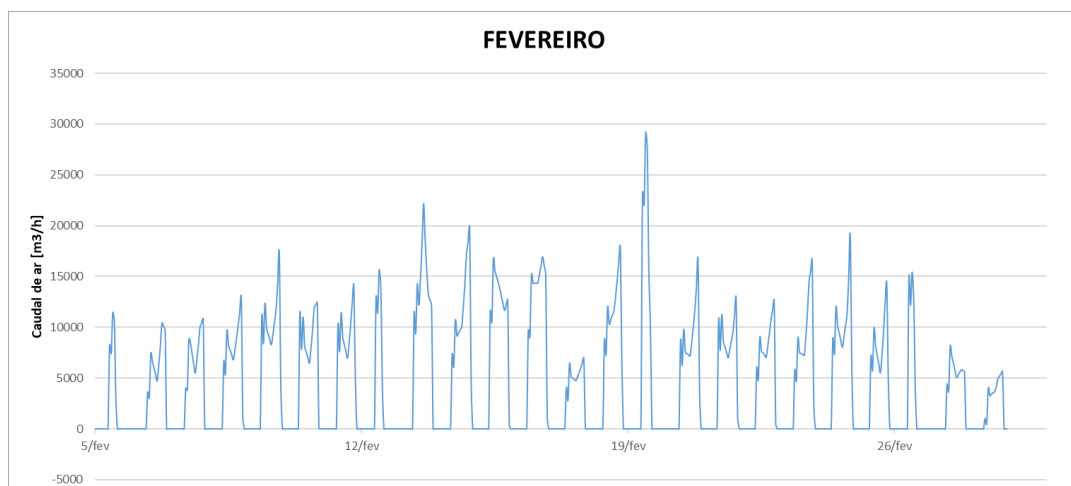


Figura 5-28 – Simulação D - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no mês de fevereiro.

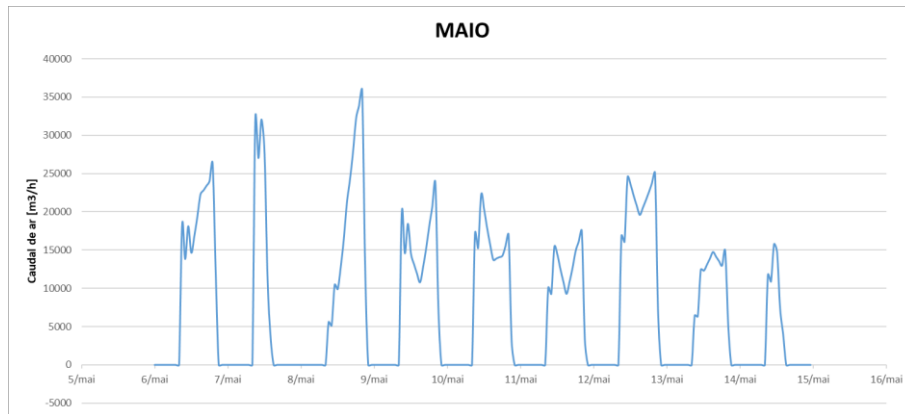


Figura 5-29 – Simulação D - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada numa semana de maio.

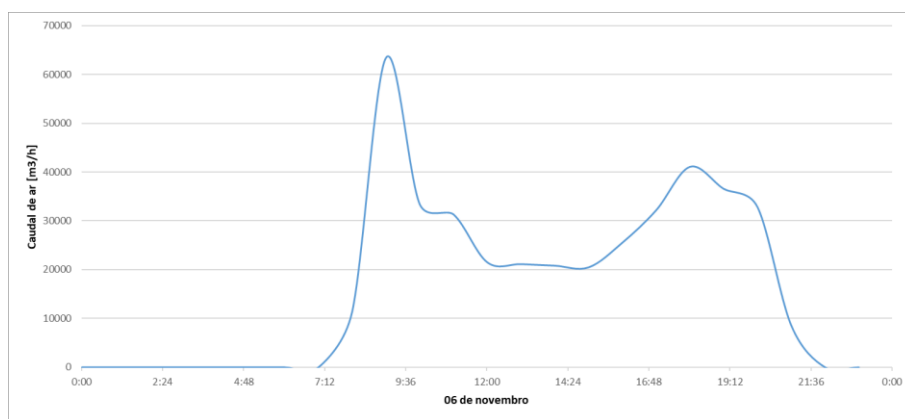


Figura 5-30 – Simulação D - Dados obtidos da evolução do caudal de ar necessário para retirar a massa de água evaporada no dia 6 de novembro.

Nas figuras anteriores, figuras 5-28, 5-29 e 5-30 estão representados graficamente os dados obtidos na simulação em termos mensal, semanal e diário das necessidades de caudal. Com base nesse caudal foi calculado também as necessidades de energia hora a hora, para satisfazer as condições anteriores, obtendo-se o gráfico da figura 5-31.

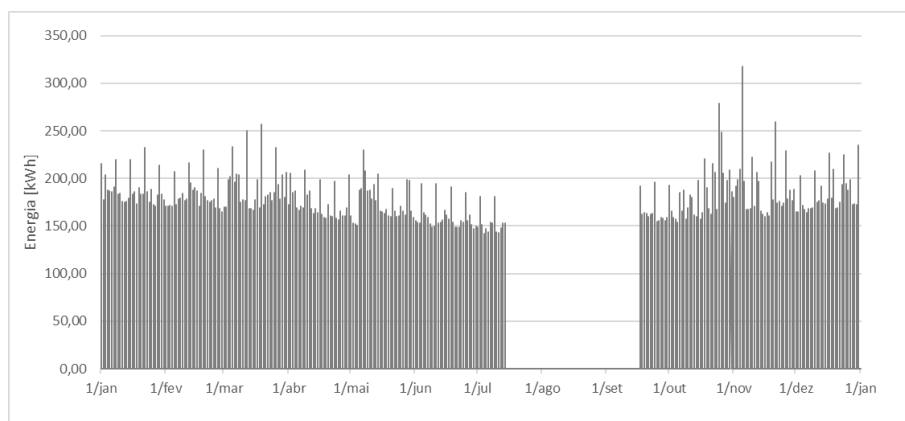


Figura 5-31 - Simulação D - Evolução anual das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas.

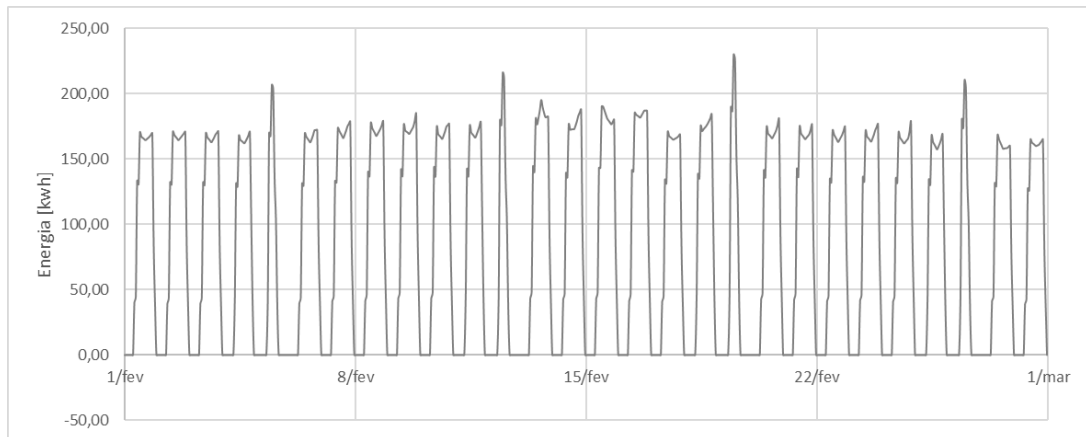


Figura 5-32 - Simulação D - Evolução das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas, durante o mês de fevereiro.

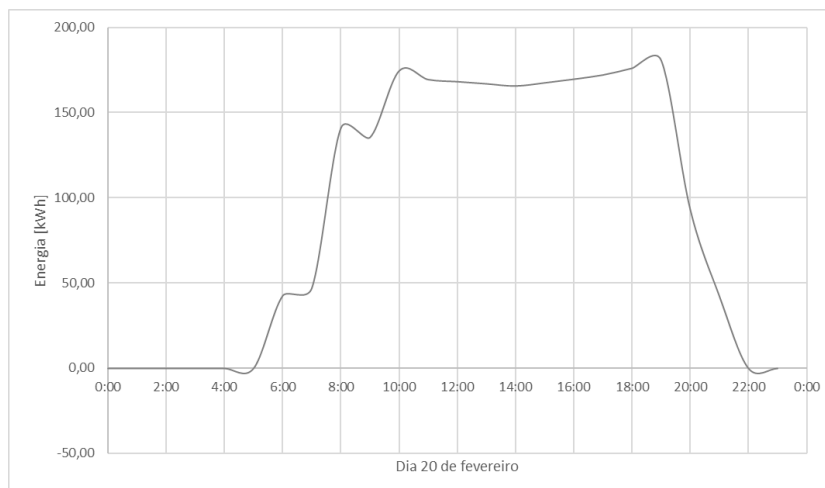


Figura 5-33 - Simulação D - Evolução das necessidades de energia em [kWh] para manter as condições definidas, durante o dia 20 de fevereiro.

As figuras 5-32 estão graficamente representados os dados obtidos nesta simulação para as necessidades de energia todo o mês de fevereiro assim como, na figura 5-33 para o dia 20 do mesmo mês. Na tabela 5-15 está um excerto da folha de cálculo que deu origem aos dados que permitiram o desenho dos gráficos dessas figuras referentes a esta simulação.

Data	horas	Características do ar			Energia do ar						Energia - Ventiladores		
		T _{ins}	ΔT	Δh Per-int	Q _s		Q _i		Q _T		Caudal	Q	
		°C	Per - Ins	[kJ/kg]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[m3/s]	w	[kWh]
05/02/2021	1	44,43	22,54	23,27	29 751,19	8,26	813,95	0,23	30 565,14	8,49	1,39	2 774,04	2,77
05/02/2021	2	44,96	23,10	23,85	29 581,69	8,22	809,82	0,22	30 391,51	8,44	1,35	2 690,23	2,69
05/02/2021	3	45,49	23,65	24,42	29 424,78	8,17	805,45	0,22	30 230,22	8,40	1,31	2 612,20	2,61
05/02/2021	4	45,81	24,03	24,81	29 377,55	8,16	802,94	0,22	30 180,49	8,38	1,28	2 565,20	2,57
05/02/2021	5	46,15	24,42	25,21	29 334,73	8,15	800,27	0,22	30 135,00	8,37	1,26	2 518,82	2,52
05/02/2021	6	46,48	24,80	25,61	29 295,03	8,14	797,52	0,22	30 092,55	8,36	1,24	2 474,61	2,47
05/02/2021	7	46,01	24,36	25,15	29 477,29	8,19	802,31	0,22	30 279,60	8,41	1,27	2 535,61	2,54
05/02/2021	8	45,55	23,92	24,70	136 918,13	38,03	3 724,03	1,03	140 642,16	39,07	1,30	2 598,83	2,60
05/02/2021	9	45,10	23,50	24,26	595 730,20	165,48	16 182,31	4,50	611 912,51	169,98	5,76	11 510,23	11,51
05/02/2021	10	45,87	24,10	24,88	585 978,82	162,77	16 007,91	4,45	601 986,73	167,22	5,53	11 051,17	11,05
05/02/2021	11	46,70	24,76	25,57	724 390,46	201,22	19 872,69	5,52	744 263,15	206,74	6,65	13 309,04	13,31
05/02/2021	12	47,60	25,49	26,32	713 265,29	198,13	19 617,96	5,45	732 883,25	203,58	6,37	12 745,16	12,75
05/02/2021	13	47,80	25,60	26,43	476 701,23	132,42	13 139,00	3,65	489 840,23	136,07	4,24	8 487,50	8,49
05/02/2021	14	48,03	25,73	26,57	358 413,54	99,56	9 896,55	2,75	368 310,09	102,31	3,18	6 351,69	6,35
05/02/2021	15	48,27	25,88	26,73	129 202,84	35,89	3 573,55	0,99	132 776,38	36,88	1,14	2 278,38	2,28
05/02/2021	16	46,51	24,07	24,87	28 383,60	7,88	790,96	0,22	29 174,56	8,10	1,24	2 486,79	2,49
05/02/2021	17	44,73	22,25	22,98	28 863,66	8,02	805,16	0,22	29 668,83	8,24	1,37	2 740,71	2,74
05/02/2021	18	42,93	20,41	21,08	29 469,67	8,19	815,88	0,23	30 285,55	8,41	1,53	3 054,23	3,05
05/02/2021	19	41,93	19,51	20,15	30 063,82	8,35	821,73	0,23	30 885,55	8,58	1,63	3 258,99	3,26
05/02/2021	20	40,97	18,65	19,25	30 725,53	8,53	826,19	0,23	31 551,72	8,76	1,74	3 484,09	3,48
05/02/2021	21	40,04	17,82	18,38	31 464,51	8,74	829,18	0,23	32 293,69	8,97	1,87	3 732,36	3,73
05/02/2021	22	40,73	18,62	19,21	31 202,01	8,67	830,42	0,23	32 032,43	8,90	1,77	3 538,10	3,54
05/02/2021	23	41,43	19,42	20,04	30 972,41	8,60	830,33	0,23	31 802,75	8,83	1,68	3 362,51	3,36
05/02/2021	24	42,09	20,18	20,83	30 776,28	8,55	829,13	0,23	31 605,40	8,78	1,61	3 210,37	3,21
06/02/2021	1	42,57	20,70	21,36	30 580,70	8,49	827,01	0,23	31 407,70	8,72	1,55	3 109,23	3,11
06/02/2021	2	43,06	21,22	21,90	30 399,21	8,44	824,50	0,23	31 223,71	8,67	1,51	3 012,48	3,01
06/02/2021	3	43,54	21,74	22,44	30 231,24	8,40	821,66	0,23	31 052,90	8,63	1,46	2 922,40	2,92
06/02/2021	4	43,91	22,17	22,89	30 159,45	8,38	819,71	0,23	30 979,16	8,61	1,43	2 856,18	2,86
06/02/2021	5	44,29	22,62	23,35	30 093,58	8,36	817,52	0,23	30 911,10	8,59	1,40	2 791,61	2,79

Tabela 5-15 – Simulação D - Excerto da folha de calculo com os dados obtidos da simulação.

Os dados obtidos encontram-se resumidos na tabela seguinte:

Operação	Energia	Unidade
Desumidificação	587 708	kWh/ano
Movimentação do Ar	100 560	kWh/ano

Tabela 5-16- Simulação D - Energia total anual para manter as condições interiores.

Simulação D	Valor	Unidade
Energia	195 903	kWh/ano
Ventiladores	100 560	kWh/ano
Consumo anual total de energia	296 463	kWh/ano
Consumo anual total de energia por m2 plano de água	392	kWh/(ano.m2)

Tabela 5-17- Simulação D - Quantidade total de energia necessária para manter as condições de conforto interiores, utilizando uma bomba de calor para aquecimento do ar.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Apresenta-se seguidamente na tabela 6-1 um resumo das simulações realizadas.

	Simulação A		Simulação B	Simulação C	Simulação D
	Situação A	Situação B			
Energia [kWh/ano]	882 170	309 533	235 041	190 852	195 903
Ventiladores [kWh/ano]	127 610	127 610	127 599	107 122	100 560
Consumo anual total de energia [kWh/ano]	1 009 781	437 144	362 640	297 974	296 463
Consumo anual total de energia por m2 plano de água [kWh/(ano.m2)]	1 764	619	470	382	392

Tabela 6-1 - Resumo das necessidades de energia para desumidificação e movimentação do ar, das simulações realizadas em kWh.

Para que seja possível efetuar a comparação das várias formas de energia, efetuou-se a conversão para energia primária, de acordo com a legislação em vigor, nomeadamente Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013.

	Simulação A		Simulação B	Simulação C	Simulação D
	Situação A	Situação B			
Energia [kWh _{ep} /ano]	882 170	773 834	587 603	477 131	489 757
Ventiladores [kWh _{ep} /ano]	319 026	319 026	318 996	267 805	251 399
Consumo anual total de energia [kWh _{ep} /ano]	1 201 196	1 092 859	906 599	744 935	741 156
Consumo anual total de energia por m2 plano de água [kWh _{ep} /(ano.m2)]	2 402	2 186	1 813	1 490	1 482

Tabela 6-2 – Resumo das necessidades de energia para desumidificação e movimentação do ar, das simulações realizadas em kWh de energia primária.

Em termos comparativos na simulação A, verifica-se que a situação A é a mais desvantajosa quando comparada com a situação B, mas também quando comparada com quaisquer outros resultados das simulações realizadas.

Esta situação resulta do facto de se utilizar uma caldeira para aquecimento do ar, enquanto nas restantes simulações se considerou uma bomba de calor, na medida em que quando se comprara diretamente com a situação A e B, há uma redução no consumo de cerca de 12 % em termos de necessidades de energia só para desumidificação.

A simulação que melhor resultado apresenta é a simulação D, na qual se realiza uma permuta entre o ar extraído e o ar exterior, aproveitando a energia térmica do ar

extraído da nave, para além de considerar que o plano de água é coberto durante o período de não utilização.

A simulação C apresenta resultados muito semelhantes à simulação D, pelo que deverá ser uma alternativa a ser explorada e ainda melhorada, nomeadamente pela conjugação da simulação B, C e D, isto é para além de se realizar o aproveitamento da energia do ar pela condensação, realizar a permuta de calor com o ar extraído da nave e ainda colocar uma cobertura na piscina nos períodos de não utilização.

A utilização de cobertura durante o período de não funcionamento, de acordo com a simulação realizada permite uma poupança de cerca de 17% nas necessidades de energia. Assim, só a aplicação da cobertura à simulação C iria provocar um decréscimo de cerca de 80000 kWh/ano.

Nos meses de outubro e novembro, principalmente, quando o conteúdo de humidade exterior é muito próximo do conteúdo de humidade interior, os valores de caudal são muito elevados para fazer face às necessidades de manter as condições interiores. No entanto estas são situações pontuais, em que, por exemplo, para o dimensionamento de um equipamento, não se deveriam considerar.

6.1 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM O CASO DE ESTUDO

Verifica-se que na simulação A, situação A, mais próxima da situação real do caso em estudo, os resultados obtidos em termos de consumo de energia são muito próximos dos dados apresentados na auditoria energética realizada no âmbito do SCE.

A auditoria energética, tal como referido anteriormente apresenta para o edifício real um consumo anual total de energia de 886 126 kWh_{ep}/ano. O resultado obtido na simulação A, situação A foi de 882 170 kWh_{ep}/ano.

Podemos assim considerar que o resultado da simulação espelha a situação que se verifica realmente no CDPC de Faro. Com base nessa premissa, podemos também considerar que a utilização de outro sistema de desumidificação irá proporcionar um benefício energético, dado que das simulações realizadas, a simulação A, situação A é a mais desvantajosa.

6.2 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO ENERGÉTICA EFETUADA A COMPLEXOS DESPORTIVOS COM PISCINAS COBERTAS

Para o presente trabalho foi possível recolher informação de auditorias energéticas de cinco CDPC que, conjuntamente com Faro, representam cerca de 30% as piscinas municipais da região do algarve. Em anexo apresenta-se as suas principais características.

Em termos de energia para a desumidificação, verifica-se os seguintes consumos:

	Aljezur	Silves	Quarteira	Loulé	Castro Marim
Plano de água m ²	412	612	674	421	168
Consumo anual total de energia [kWh _{ep} /ano]	907 383	1 514 705	1 409 712	1 049 286	1 935 242
Consumo anual total de energia para desumidificação [kWh _{ep} /ano]	58513	94707	94707	81360	29659
Consumo anual total de energia para desumidificação por m ² plano de água [kWh _{ep} /(ano.m ²)]	142	155	141	193	177
Consumo anual total de energia por m ² plano de água [kWh _{ep} /(ano.m ²)]	2 202	2 475	2 092	2 492	3 870

Tabela 6-3 - Tabela comparativa de consumos de energia para desumidificação dos CDPC em análise

Quando se compara o consumo total anual de energia por energia por m² plano de água verifica-se que os valores estão dentro dos valores encontrados na literatura e referenciados na Tabela 2-3 - Valores dos indicadores de performance energética na literatura. (Castro, 2020), considerando que os mesmos se encontram em kWh_{ep}.

Quando comparado com os resultados das simulações efetuadas, verifica-se que existe uma grande diferença os dados da simulação e o consumo anual total de energia por m² plano de água dos CDPC.

Esta situação pode dever-se a vários fatores, entre os quais, o COP dos equipamentos utilizados, os perfis de ocupação, ou o número de utilizadores e consequentemente a taxa de evaporação são muito diferentes das simuladas, etc., sendo que as simulações realizadas carecem de ser validadas com dados reais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O valor anual do consumo de energia obtido pela simulação realizada é próximo do valor obtido no certificado energético do CDPC em estudo.

Os resultados obtidos também permitiram concluir que a utilização de um sistema de bomba de calor, independente do seu COP, melhoram o consumo de energia.

A simulação que melhor resultado apresenta é a simulação D, na qual se realiza uma permuta entre o ar extraído e o ar exterior, aproveitando a energia térmica do ar extraído da nave, para além de considerar que o plano de água é coberto durante o período de não utilização.

No entanto, sem a aplicação da cobertura, a solução que apresenta melhores resultados é a simulação que efetua a recirculação do ar para aproveitamento do calor do ar da piscina através de uma bateria de condensação – simulação C.

Quando se aplica uma cobertura à solução que apresenta um a recuperação de calor através de um permutador de placas os valores obtidos (simulação D) são muito semelhantes os obtidos com a simulação C, podendo inclusivamente serem melhorados, uma vez que os resultados foram obtidos com uma eficiência de permuta de 60%..

A utilização de uma cobertura na piscina nas horas de não utilização promove uma diminuição do consumo de energia, na ordem do 17%, o que é muito significativo, permitindo poupanças que em pouco tempo cobririam o investimento a realizar para a sua colocação.

Quando comparamos os resultados obtidos com os restantes CDPC, verifica-se que não se conseguem retirar nenhuma conclusão, na medida em que a ocupação e os caudais de ar influenciam significativamente as taxas de evaporação e consequentemente o consumo de energia para manter as condições interiores. Podemos, no entanto, concluir que a desumidificação representa o maior consumo de energia nos CDPC.

Por outro lado, os dados obtidos vão ao encontro de outras teses já desenvolvidas, que permitem concluir que o sistema de bomba de calor com recuperador ou com recirculação do ar serão os tipos de sistemas que apresentam um melhor desempenho. Este

desempenho poderá ser significativamente melhorado com a colocação de uma cobertura.

Em termos de proposta para trabalhos futuros, a validação dos dados obtidos na simulação dinâmica efetuada seria da máxima importância, tanto ao CDPC em estudo como em outras localizações, ainda, a avaliação da taxa de evaporação horária, dos caudais e consumos de energia nos CDPC seriam fundamentais.

A aplicação da folha de calculo da simulação a outros sistemas de desumidificação ou a combinações destes sistemas e sua respetiva validação seria importante para um melhor dimensionamento dos equipamentos a instalar neste tipo de edifícios.

8 BIBLIOGRAFIA

19-B. Eva M Albarracín-CIATESA. (n.d.).

Alexandre, N., & Delgado, P. (2015). Eficiência Energética de Piscinas. Reabilitando incluindo o Mix energético renovável.

Allen, M., Barros, V., Broome, J., & Cramer, W. (2014). IPCC Climate Change AR5 Synthesis Report. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, November, 116.

Almeida, B. (2014). Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra. 96.

Anna, K. (2011). Mechanical ventilation system in swimming pools. February.

Anon. n.d. "SHTxx Application Note Dew-Point Calculation."

Apolinário, J. P. F. (2015a). Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu.

Apolinário, J. P. F. (2015b). Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu.

Artilheiro Ribeiro, E. M. (2014). Avaliação e controlo integrado de processos energéticos em piscinas interiores numa perspectiva de optimização. Dissertação Apresentada No Âmbito Do Curso de Doutoramento Em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Na Área de Especialização Em Sistemas de Energia.

ASHRAE. 2010. Handbook HVAC Refrigeration. Vol. 30329.

Bernardo, J. (2018). Plano Nacional Integrado Energia-Clima: Linhas de Atuação para o Horizonte 2021-2030. Sessão de Apresentação Do Plano Nacional de Energia e Clima 2030, (in Portuguese).

BEST PRACTICE PROGRAMME ENERGY CONSUMPTION GUIDE 78. (2001).

Castro, E. M. M. da S. e. (2020). AUDITORIA ENERGÉTICA E PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMO E CUSTO DE ENERGIA DE UM CLUBE DESPORTIVO. 122.

Comissão europeia. (2014). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Estado atual da estratégia Europa 2020 para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo.

COMISSÃO EUROPEIA. (2019). RELATÓRIO DA COMISSÃO RELATÓRIO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU, AO COMITÉ DAS REGIÕES E AO BANCO EUROPEU DE INVESTIMENTO (Vol. 1, Issue 1).

Decreto-Lei n.º 118/2013-Diário da República n.º 159/2013, Série I de 2013-08-20 Diploma. (2013).

Desumidificadores de condensação com tecnologia de compressor - TROTEC. (n.d.). Retrieved December 16, 2019, from <https://de.trotec.com/pt/produtos-e-servicos/maquinas-homecomfort/desumidificacao/conhecimento-pratico-desumidificadores/resumo-dos-metodos-de-desumidificacao/desumidificadores-de-condensacao-com-tecnologia-de-compressor/>

Devres, Y. O. (1994). Psychrometric properties of humid air: Calculation procedures. *Applied Energy*, 48(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0306-2619(94)90063-9)

Energética, R. P.-A. e T. (2019). Plano Nacional Energia - Clima 2030. 2019, 1–11.

Energia em Números - Edição 2019 (atualizado) | Observatório da Energia. (2019).

Engineered with Excellence, Specified with Confidence. (n.d.).

European Commission. (2014). Causes of Climate Change. 2018. https://ec.europa.eu/clima/change/causes_en

Faro, camara municipal de. (n.d.). Regulamento geral de Gestão, Utilização e Cedência das Instalações desportivas Municipais. 7.

Ferreira, A. S. (2013). Piscinas em Portugal – Concepção Arquitectónica das piscinas municipais de São João da Madeira. 1–124.

Fontes, A. A. (2015). Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: caso da piscina municipal Luís Lopes da Conceição.

Gonçalves, R. (2015). Desempenho energético de edifícios desportivos com piscinas aquecidas.

Gatley, D. P. 2013. Understanding Psychrometrics.

Guide, Danthermgroup. co. 2007. "Selection Guide DEHUMIDIFICATION OF SWIMMING POOLS." Converter (March):78–81.

Hardy, Bob. 1998. "ITS-90 FORMULATIONS FOR VAPOR PRESSURE, FROSTPOINT TEMPERATURE, DEWPOINT TEMPERATURE, AND ENHANCEMENT FACTORS IN THE RANGE-100 TO +100 C."

História | sport Algés e Dafundo. (n.d.). Retrieved January 3, 2022, from <https://www.sportalgesedafundo.com/historia>

IEA. (2019). Geco 2019. International Energy Agency Website. <https://www.iea.org/geco/>

IPDJ/DIED - Divisão de Infraestruturas Desportivas. (2013). INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DESPORTIVOS-Legislação e Regulamentação-Normas Técnicas Versão Maio 2013 1.1-Instalações e Equipamentos de Desporto e Recreação DIPLOMA DESCRICÃO OBSERVAÇÕES.

Isabel, P., & Morim, F. (2014). AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR E CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA PISCINA COBERTA E PROPOSTAS DE MELHORIA.

Lam, J. C., & Chan, W. W. (2001). Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1299–1306. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00146-1](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00146-1)

Lazzarin, R. M., & Longo, G. A. (1996). Comparison of heat recovery systems in public indoor swimming pools. *Applied Thermal Engineering*, 16(7), 561–570. [https://doi.org/10.1016/1359-4311\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/1359-4311(95)00059-3)

Lee, W. S., & Kung, C. K. (2008). Optimization of heat pump system in indoor swimming pool using particle swarm algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 28(13), 1647–1653. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.11.003>

Leisure centres heat pumps, indoor pools & heat recovery. (n.d.). Retrieved December 16, 2019, from <https://www.slideshare.net/TonySweety/leisure-centres-heat-pumps-indoor-pools-heat-recovery>

Manuel, F., & Moreira, P. (2015). Piscina Municipal.

Manuel, P., & Sampaio, P. (2016). Eficiência Energética em Complexos Interiores : Piscina Municipal de Celas.

Matos, A., Pires, A. F., Madeira, C. P., Barreiros, C., Dias, C. S., Aguiar, F., Pinhal, H., Mateus, I., Nobre, L. M., Duarte, M. E., Pacheco, P., Alves, S., Páscoa, S., & Noronha, V. L. (2006). AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM PISCINAS COBERTAS (Vol. 1).

Menezes De Sequeira, J. (2013). ANDREIA SANTOS FERREIRA PISCINAS EM PORTUGAL-CONCEPÇÃO ARQUITECTÓNICA DAS PISCINAS MUNICIPAIS DE SÃO JOÃO DA MADEIRA.

NP 4448 2007 - Aquecimento Piscinas |Energia Solar | Temperatura. (2007). https://pt.scribd.com/document/250419933/NP004448-2007-Aquecimento-Piscinas-1?doc_id=250419933&order=486455427

Portaria 353-A/2013, 2013-12-04 - DRE, 1.ª série Diário da República 2 (2013).

Portaria n.º 349-D/2013. (2013). Portaria n.º 349-D/2013. Diário Da República, 1.ª série(40), 40–73.

Quintela, Divo A; Humberto M., Jorge; Ribeiro, E. (2011). HVAC system energy optimization in indoor swimming pools.

Saari, A., & Sekki, T. (2008). Energy Consumption of a Public Swimming Bath. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2(1), 202–206. <https://doi.org/10.2174/1874836800802010202>

SEDAC. (2012). Providing Effective Energy Strategies for Public and Private Buildings in Illinois. 1–4.

Shah, M. M. (2014). Methods for calculation of evaporation from swimming pools and other water surfaces. *ASHRAE Conference-Papers*, 120, 3–17.

Stull, Roland. 2011. “Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature.” *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50(11):2267–69. doi: 10.1175/JAMC-D-11-0143.1.

TMY generator | EU Science Hub. (n.d.). Retrieved January 16, 2022, from <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/tools/tmy>

Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylaktos, C., Droutsas, K., Balaras, C. A., Santamouris, M., Asimakopoulos, D. N., Lazaropoulou, G., & Papanikolaou, N. (1998).

Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools. Energy and Buildings. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(97\)00041-8](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(97)00041-8)

ANEXOS

9 ANEXOS

ANEXO I - COMPLEXOS DESPORTIVOS EM ESTUDO

CDPC - LOULÉ

Este complexo desportivo encontra-se construído numa zona periférica de uma cidade algarvia, pertencente à zona climatérica de Inverno IV e de Verão V3, com uma distância à costa superior a 5 km. A estação de aquecimento tem uma duração de 4.8 meses e tem 1073 graus dias. Encontra-se distribuído por 2 pisos tem uma área útil de pavimento de cerca de 2250 m².

A distribuição dos principais consumos de energia são:

Consumo por tipologia	Distribuição do consumo por uso [%]
Aquecimento	25 %
Arrefecimento	5 %
Iluminação	6 %
AQS	11 %
Outros	53 %

Equipamento de desumidificação: CIATESA BCP 320 + BCP 230

Potência total das unidades: 130.20 + 105.60

Caudal de ar tratado: 16000 m³/h + 11500

Capacidade de desumidificação: Total 66.50 + 44.60 kg / h

Consumo anual de energia para desumidificação: 48 816 + 32 544

ANEXOS

CDPC - CASTRO MARIM

O segundo complexo desportivo em análise encontra-se numa zona urbana, pertencente à zona climatérica de Inverno IV e de Verão V3, com uma distância à costa inferior a 5 km. A estação de aquecimento tem uma duração de 4.8 meses e tem 733 graus dias. Encontra-se distribuído por 2 pisos tem uma área útil de pavimento de cerca de 900 m².

A distribuição dos principais consumos de energia são:

Consumo por tipologia	Distribuição do consumo por uso [%]
Aquecimento	3 %
Arrefecimento	1 %
Iluminação	5 %
AQS	3 %
Outros	88 %

Equipamento de desumidificação: CIATESA BCP 320 + BCP 230

Potência total das unidades: 10 kW

Caudal de ar tratado: 6000 m³/h

Capacidade de desumidificação: Total 25 kg / h

Consumo anual de energia para desumidificação: 29659 kWh/ano

ANEXOS

CDPC - QUARTEIRA

O complexo desportivo em análise encontra-se numa zona urbana, pertencente à zona climática de Inverno IV e de Verão V3, com uma distância à costa inferior a 5 km. A estação de aquecimento tem uma duração de 4.8 meses e tem 742 graus dias. Encontra-se distribuído por 2 pisos tem uma área útil de pavimento de cerca de 4600 m².

A distribuição dos principais consumos de energia são:

Consumo por tipologia	Distribuição do consumo por uso [%]
Aquecimento	20 %
Arrefecimento	2 %
Iluminação	5 %
AQS	16 %
Outros	57 %

Equipamento de desumidificação: Deshu 285 df

Potência total das unidades: 250 kW

Caudal de ar tratado: 20000 m³/h

Capacidade de desumidificação: Total 90 kg / h

Consumo anual de energia para desumidificação: 210000 kWh

ANEXOS

CDPC - SILVES

O complexo desportivo em análise encontra-se numa zona urbana, pertencente à zona climatérica de Inverno IV e de Verão V3, com uma distância à costa inferior a 5 km. A estação de aquecimento tem uma duração de 4.8 meses e tem 737 graus dias. Encontra-se distribuído por 2 pisos tem uma área útil de pavimento de cerca de 3500 m².

A distribuição dos principais consumos de energia são:

Consumo por tipologia	Distribuição do consumo por uso [%]
Aquecimento	2 %
Arrefecimento	1 %
Iluminação	6 %
AQS	10 %
Outros	81 %

Equipamento de desumidificação: Deshu 285 df

Potência total das unidades: 723 kW

Caudal de ar tratado: 41200 m³/h

Capacidade de desumidificação: Total 35 kg / h

Consumo anual de energia para desumidificação: 94707 kWh

ANEXOS

CDPC - ALJEZUR

O complexo desportivo em análise encontra-se numa zona urbana, pertencente à zona climatérica de Inverno IV e de Verão V3, com uma distância à costa superior a 5 km. A estação de aquecimento tem uma duração de 4.8 meses e tem 771 graus dias. Encontra-se distribuído por 2 pisos tem uma área útil de pavimento de cerca de 2000 m².

A distribuição dos principais consumos de energia são:

Consumo por tipologia	Distribuição do consumo por uso [%]
Aquecimento	3 %
Arrefecimento	1 %
Iluminação	6 %
AQS	59 %
Outros	31 %

Equipamento de desumidificação: Ciatesa BCP 480

Potência total das unidades: 225 kW

Caudal de ar tratado: 36000 m³/h

Capacidade de desumidificação: Total 100 kg / h

Consumo anual de energia para desumidificação: 58513 kWh ???

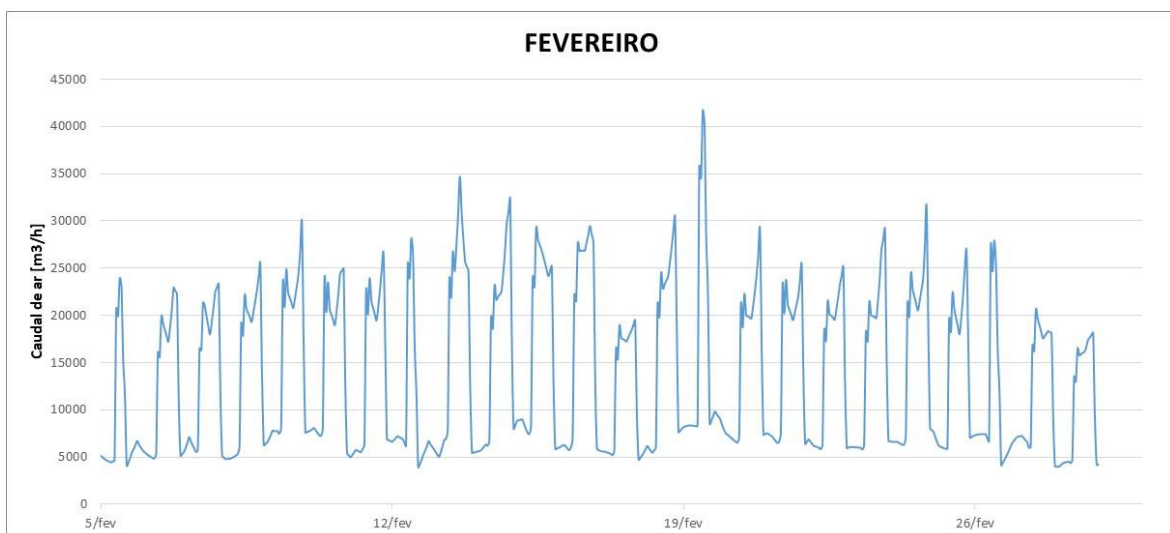
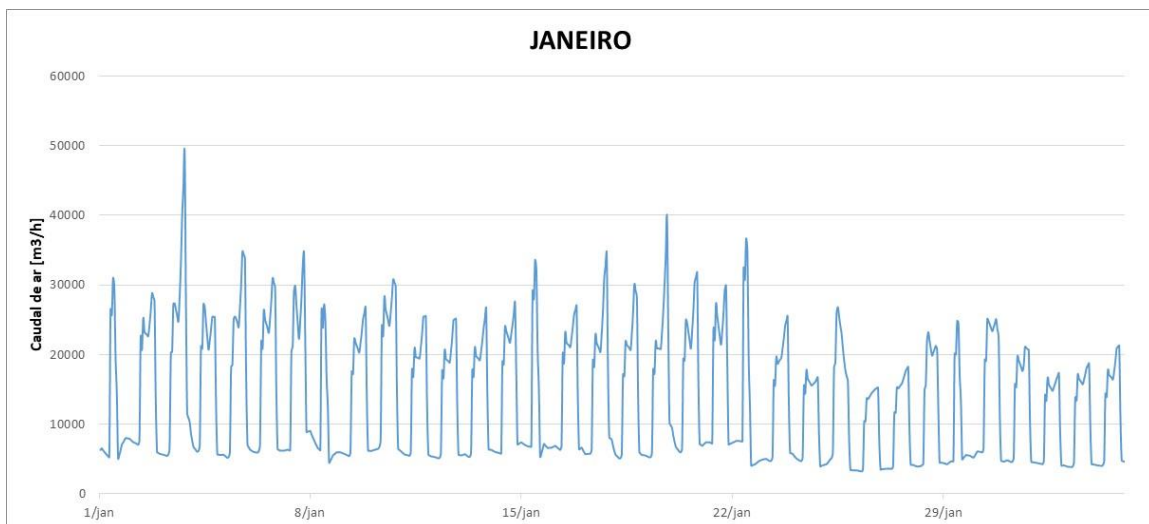
ANEXOS

ANEXO II - SIMULAÇÕES

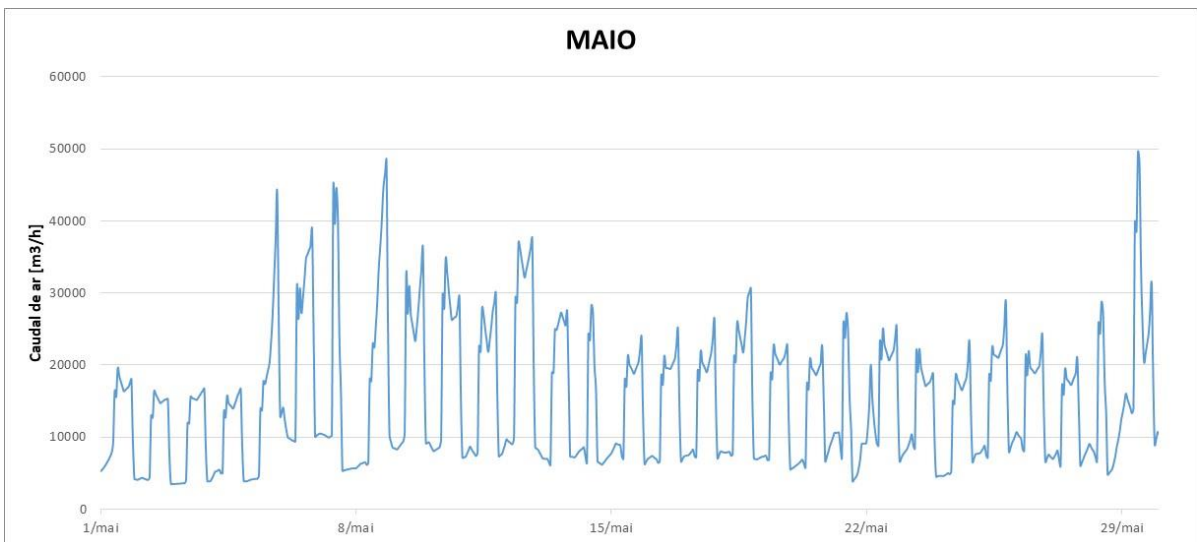
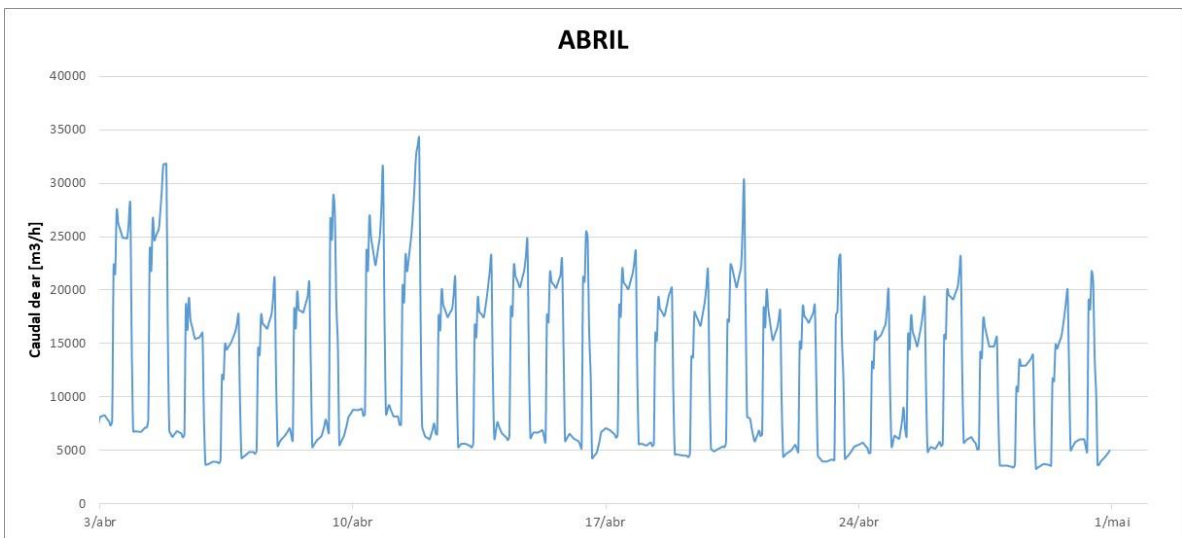
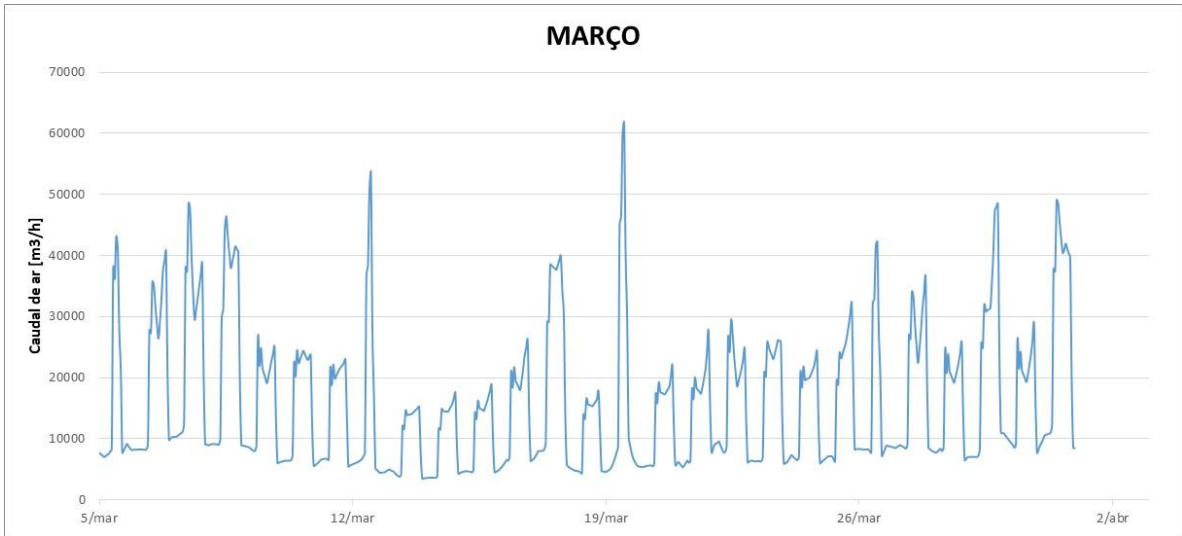
SIMULAÇÃO A

SIMULAÇÃO A e C- CAUDAL DE AR

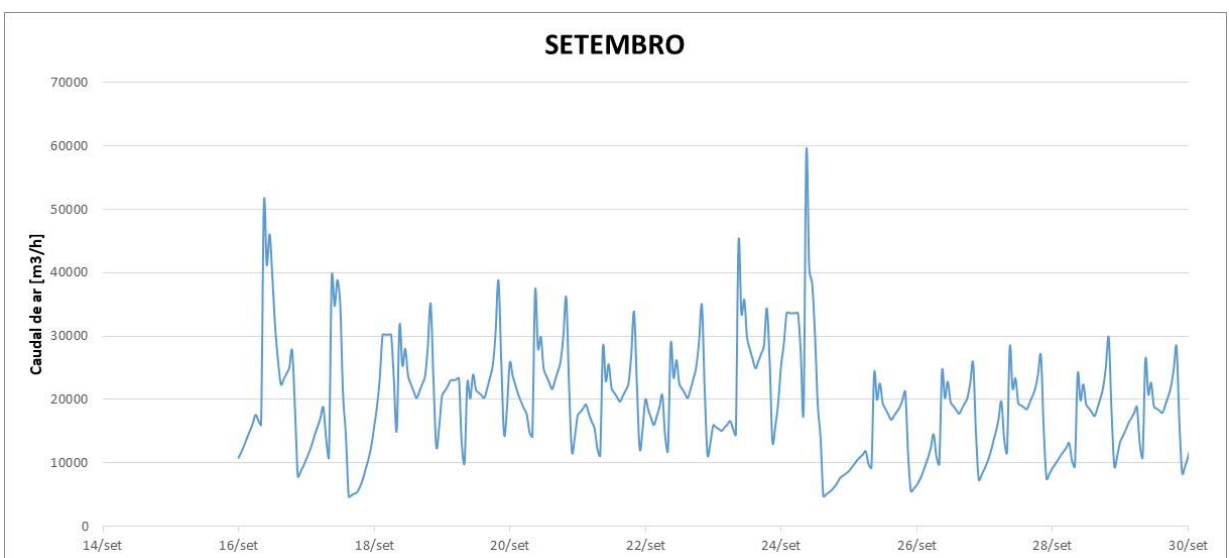
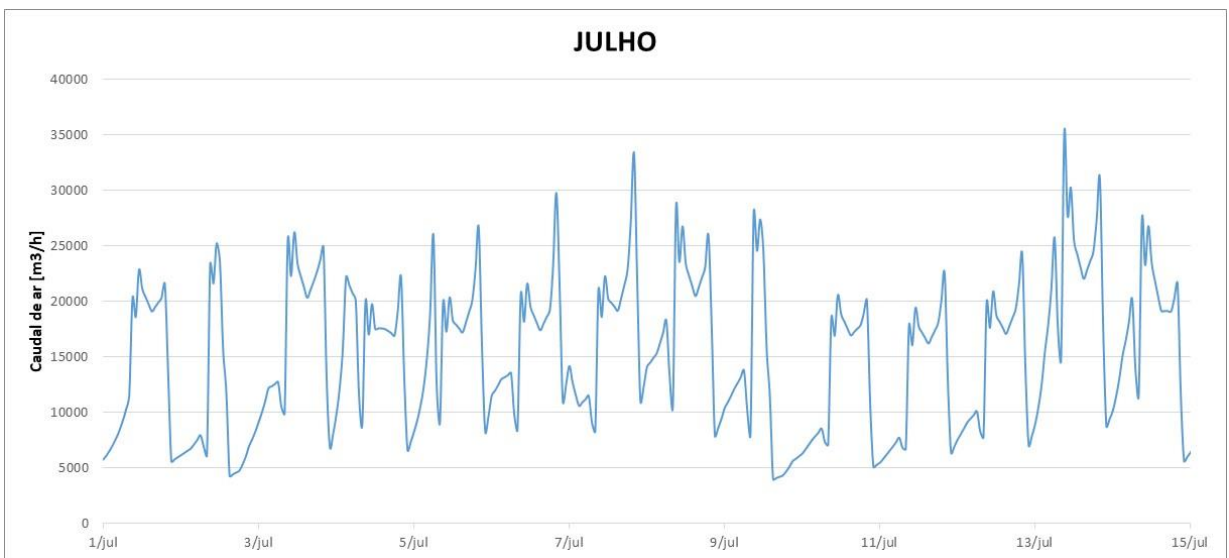
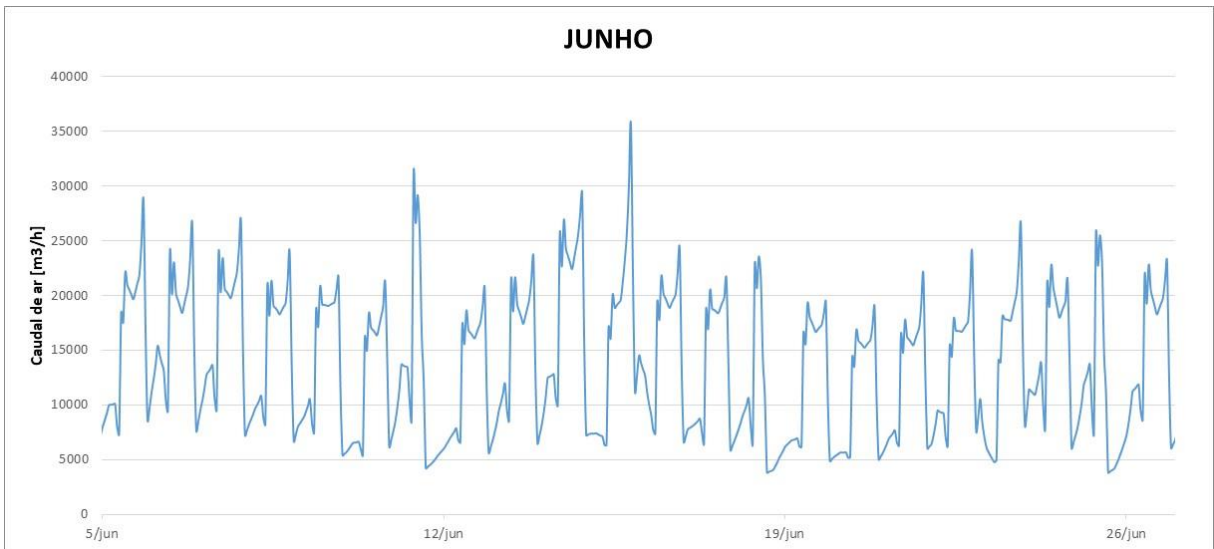
Gráficos Mensais de evolução das necessidades de caudal de ar, para retirar a massa de água evaporada e/ou necessário para manter as necessidades de ar novo requeridas pela legislação em vigor.



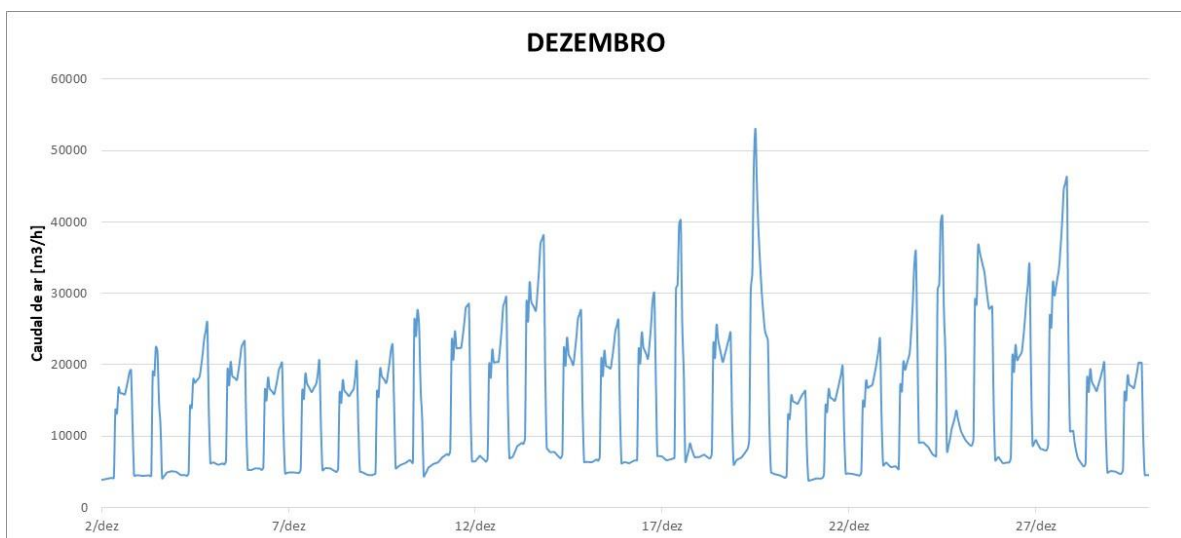
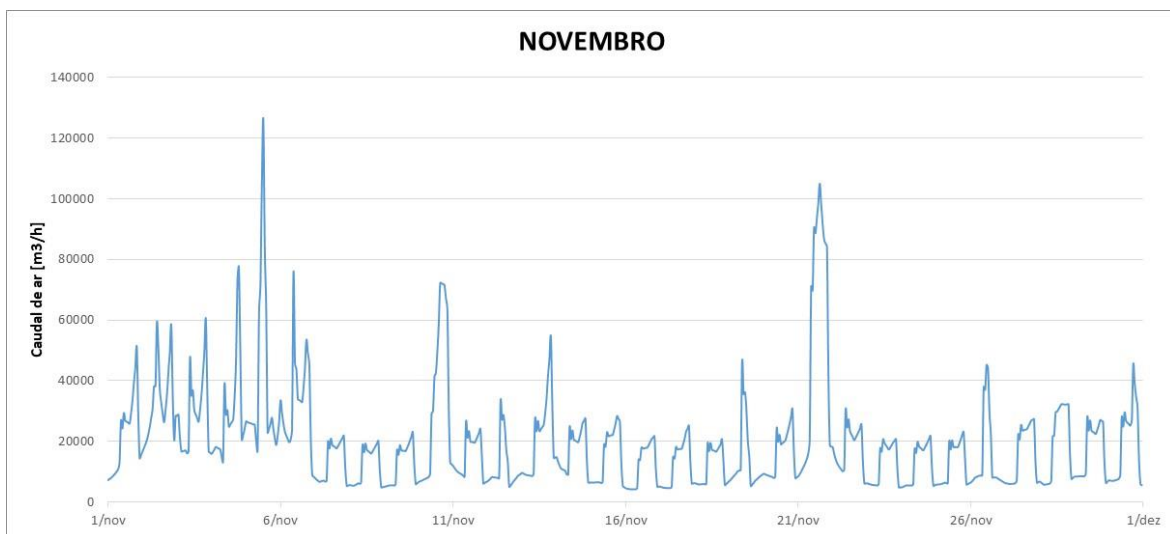
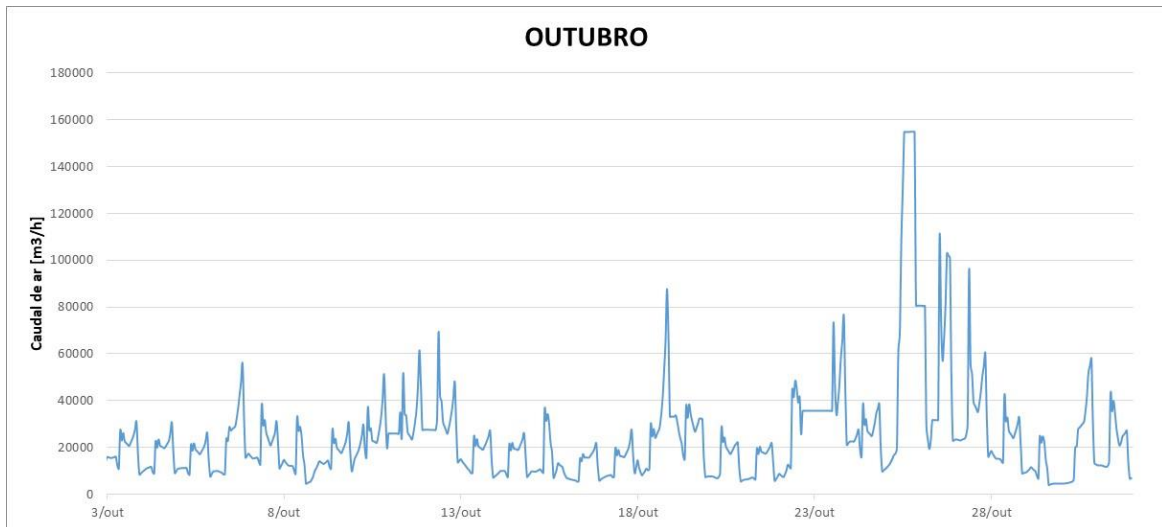
ANEXOS



ANEXOS



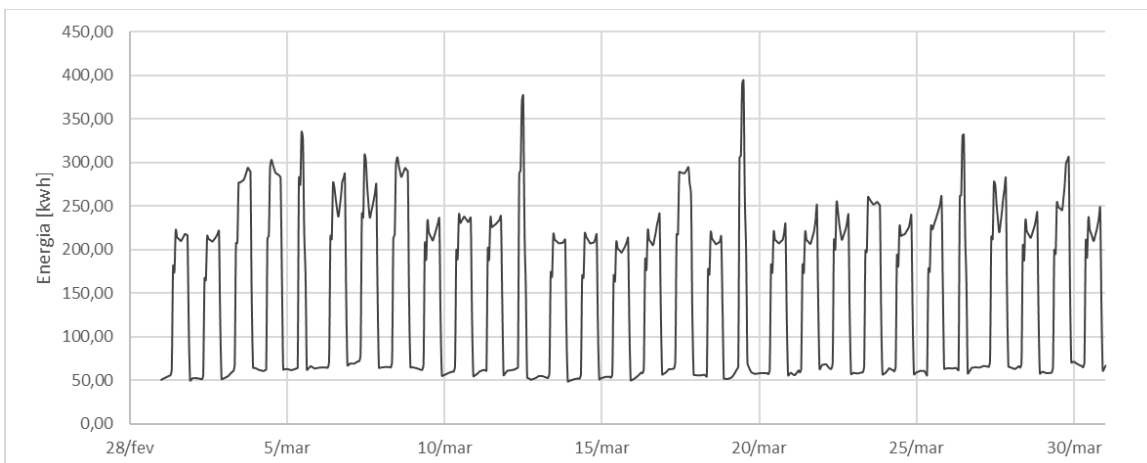
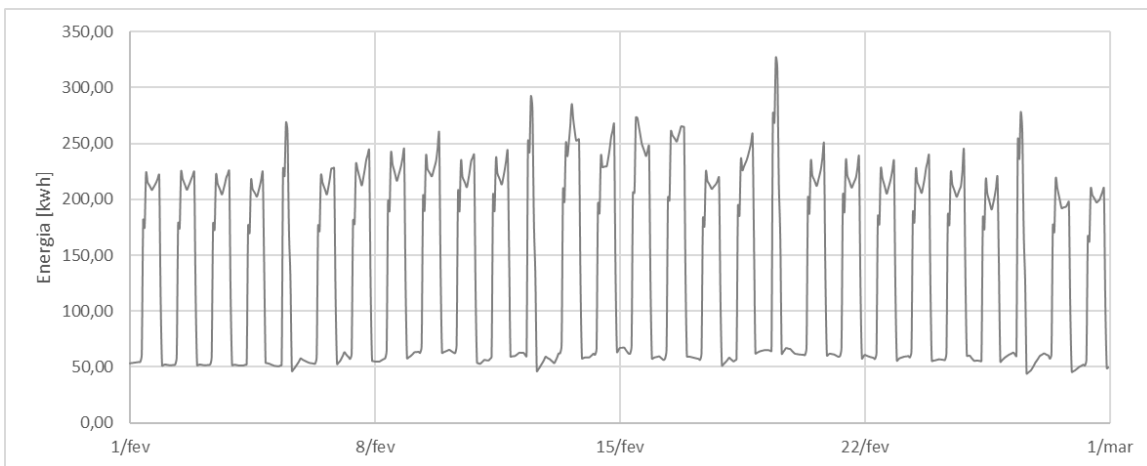
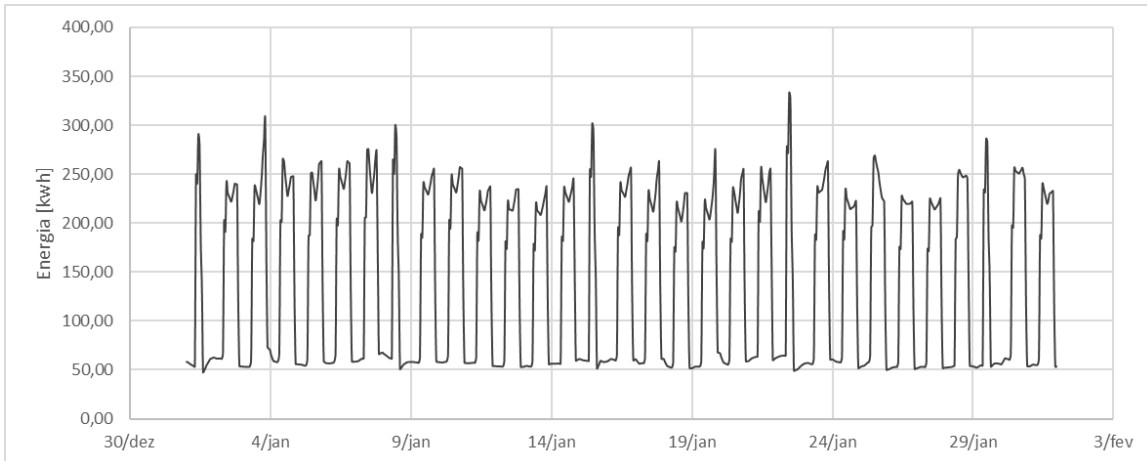
ANEXOS



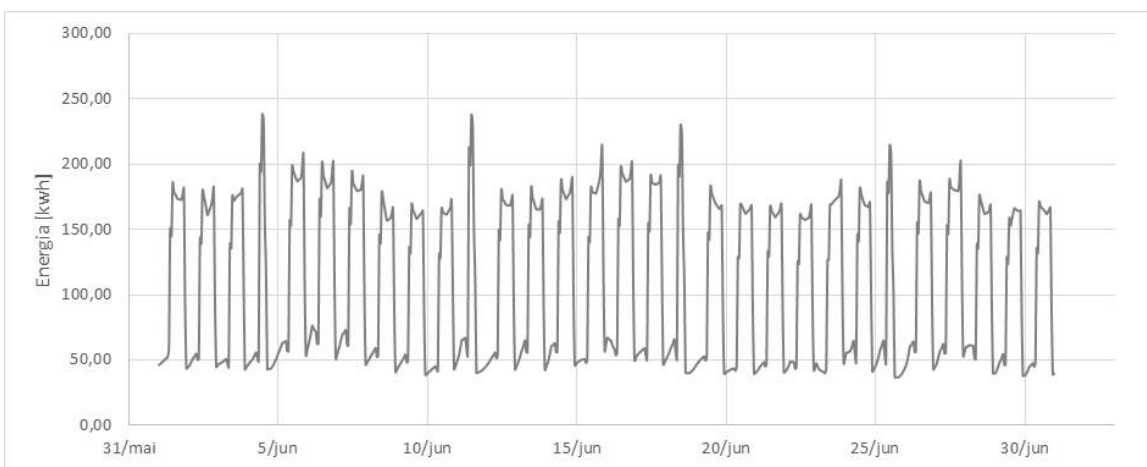
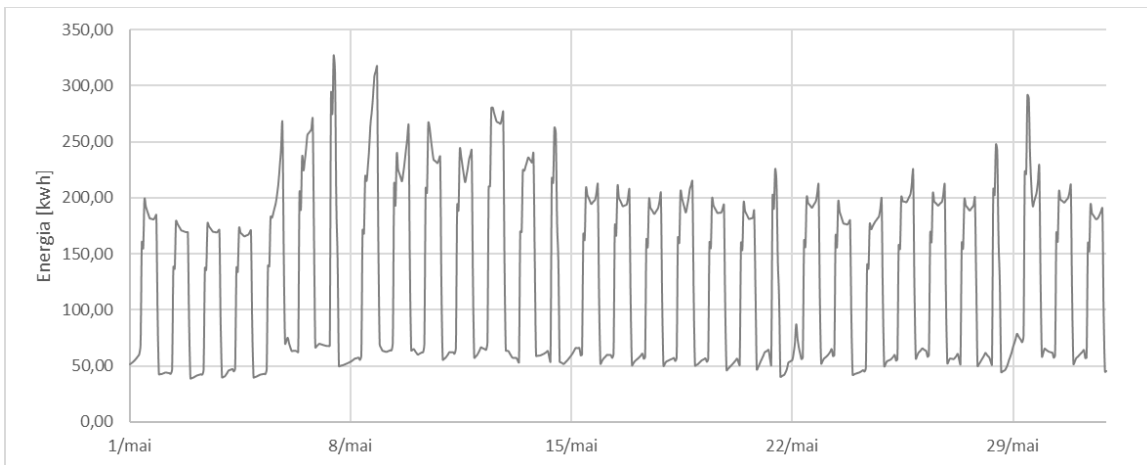
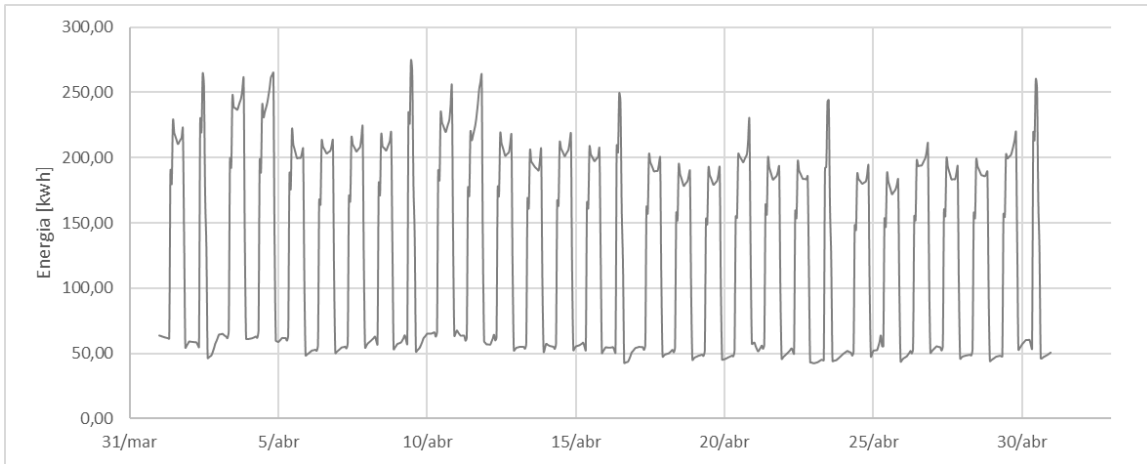
ANEXOS

SIMULAÇÃO A - ENERGIA

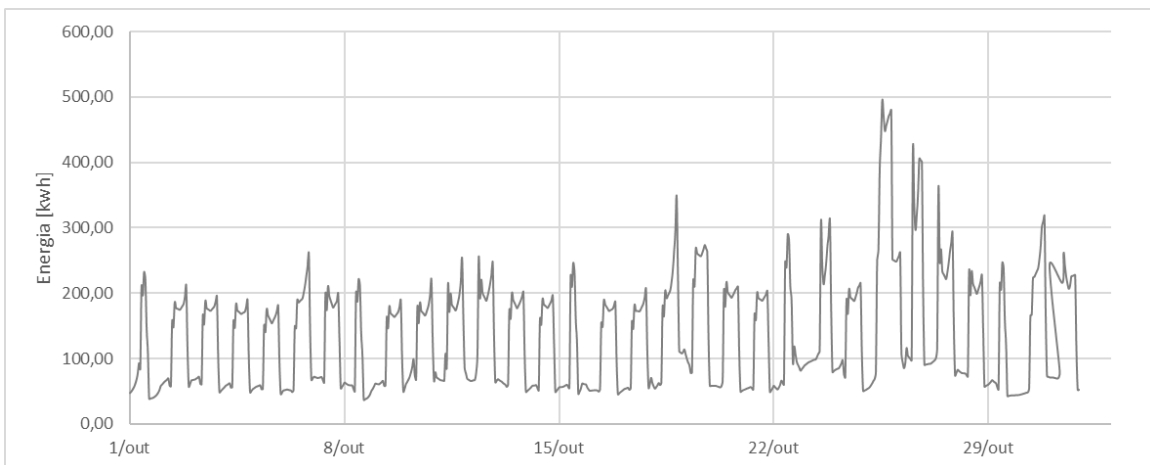
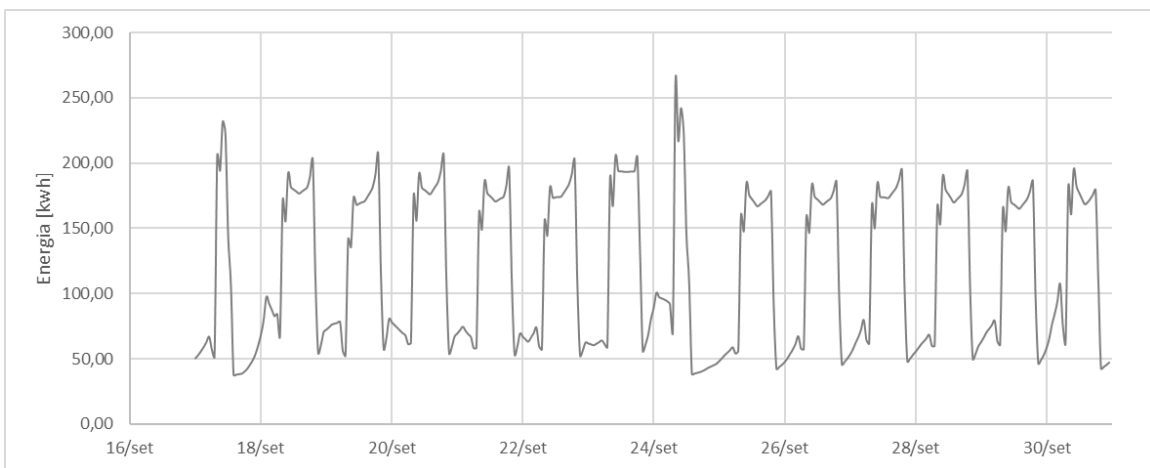
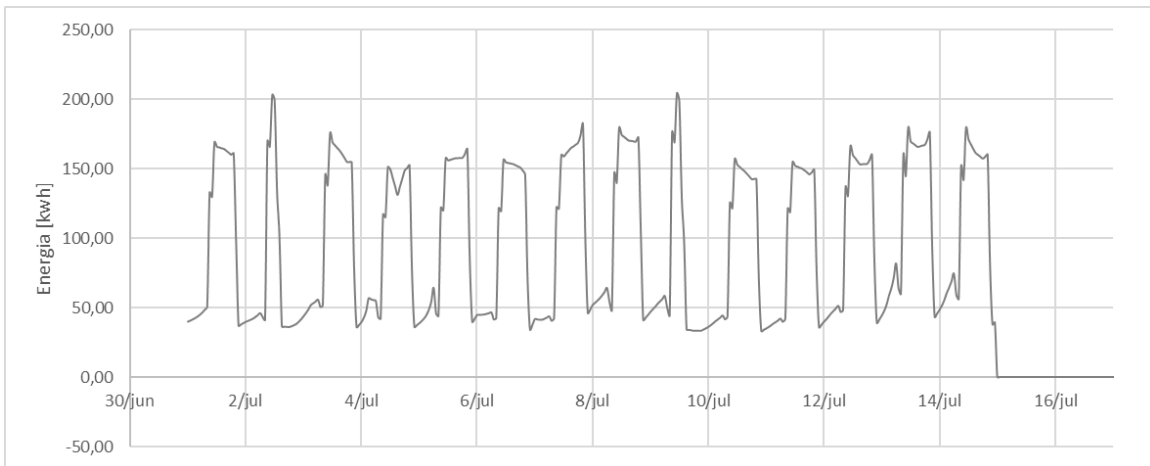
Gráficos mensais das necessidades de energia obtidos na simulação A.



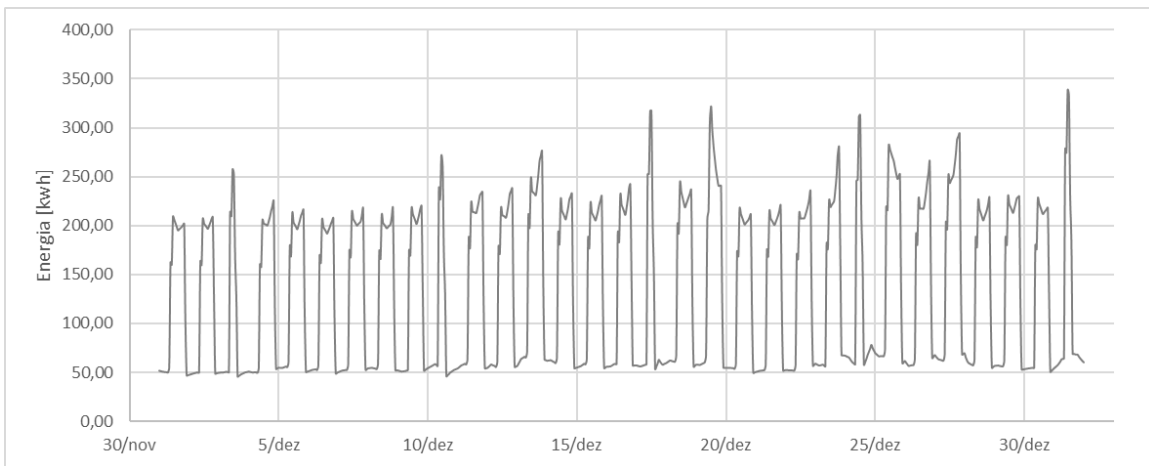
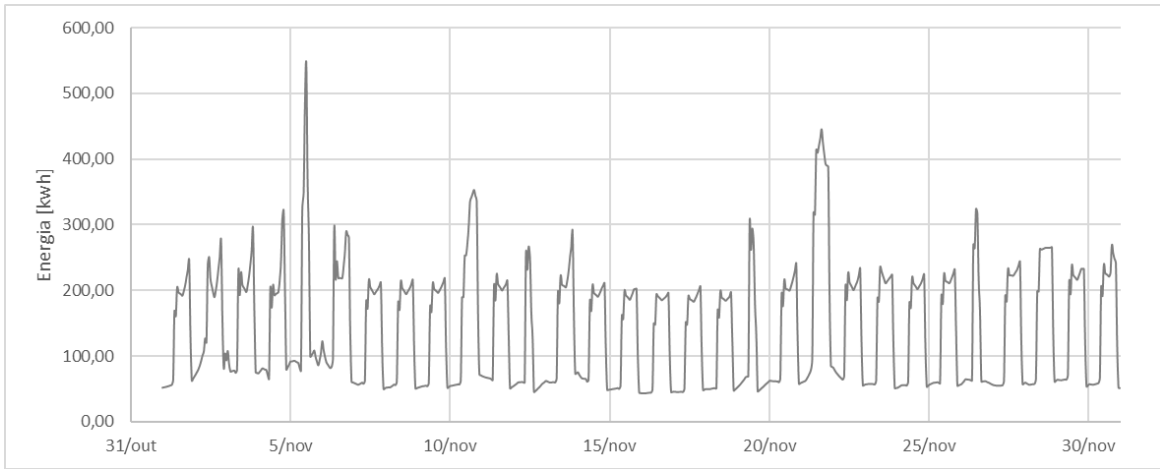
ANEXOS



ANEXOS



ANEXOS



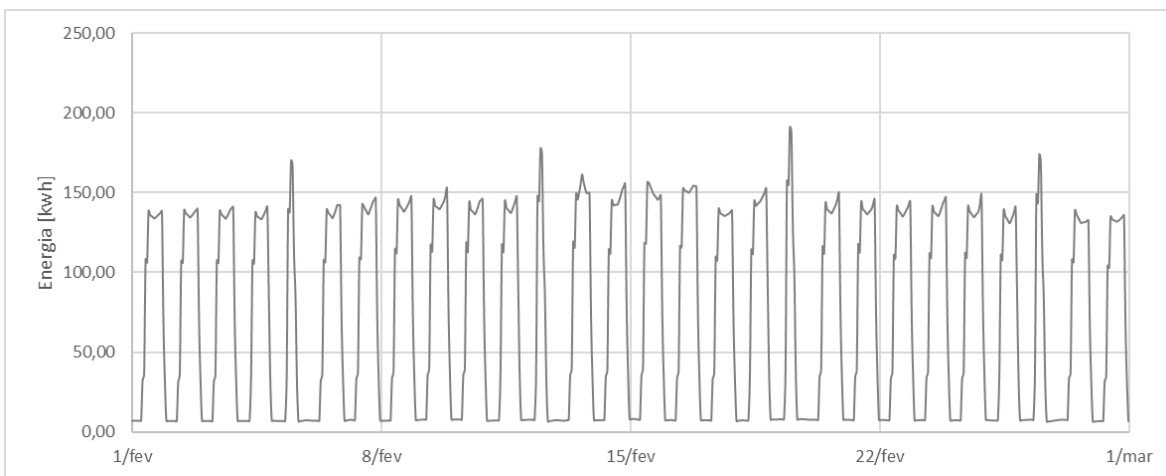
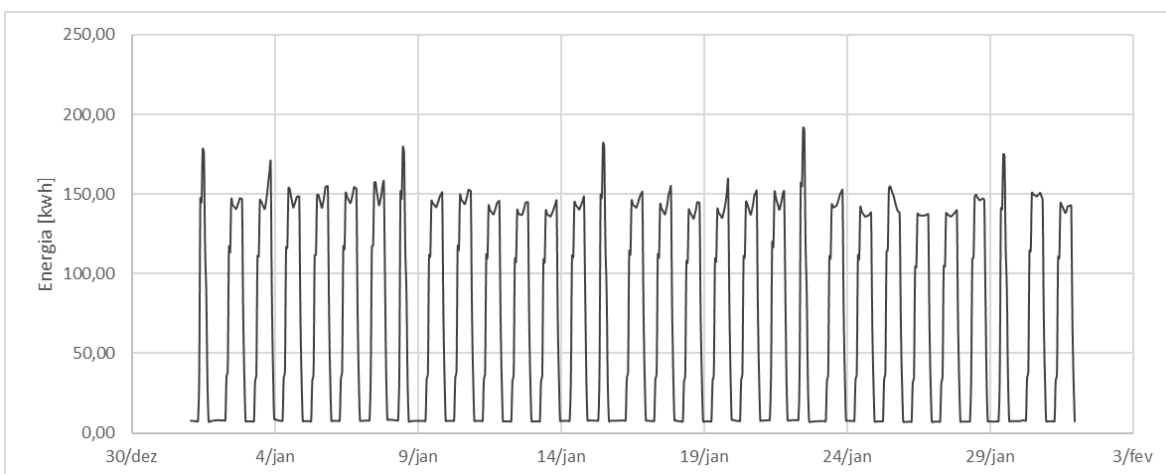
ANEXOS

SIMULAÇÃO B

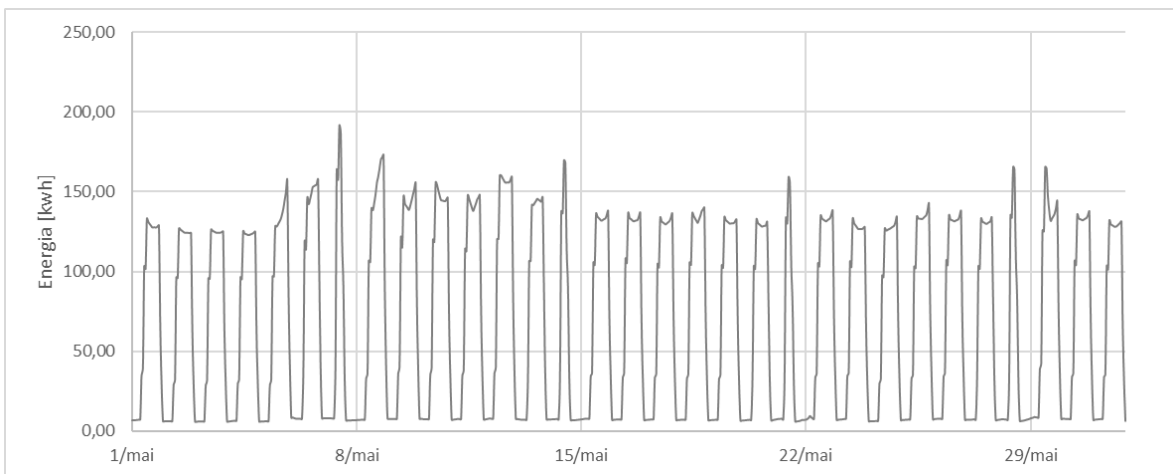
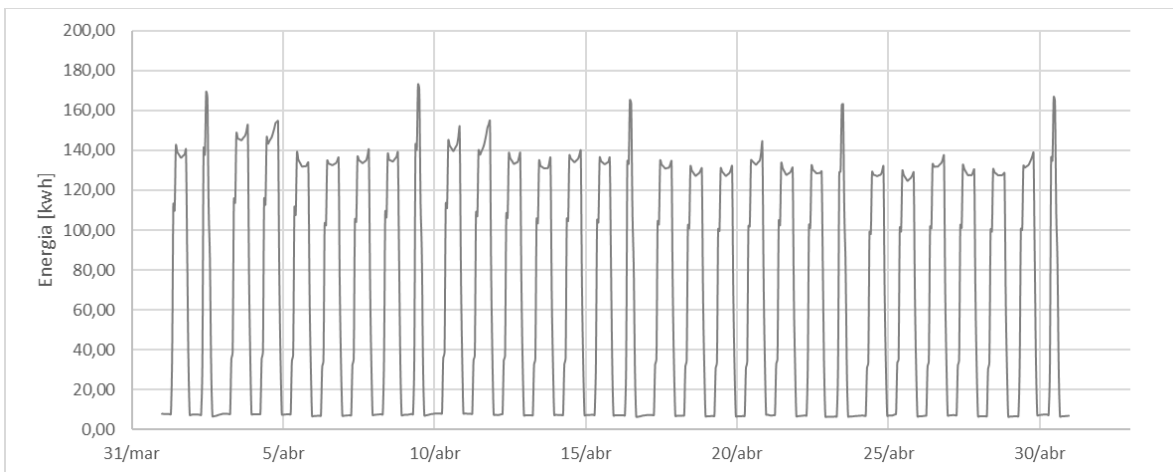
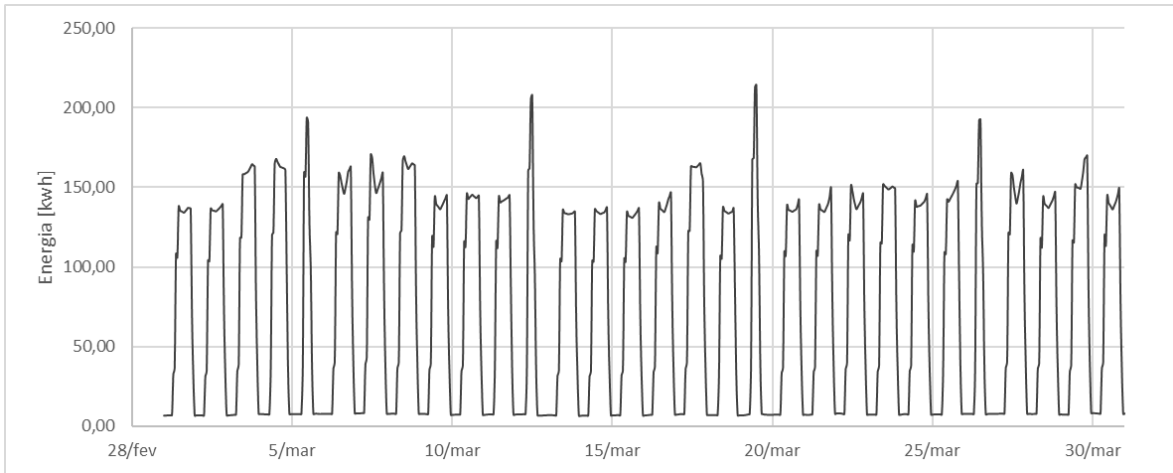
SIMULAÇÃO B - CAUDAL DE AR

Gráficos mensais de evolução das necessidades de caudal de ar na simulação B são idênticos aos da simulação A, pelo que se deverão ser consultados os gráficos que se encontram no anexo da simulação A – caudal de ar.

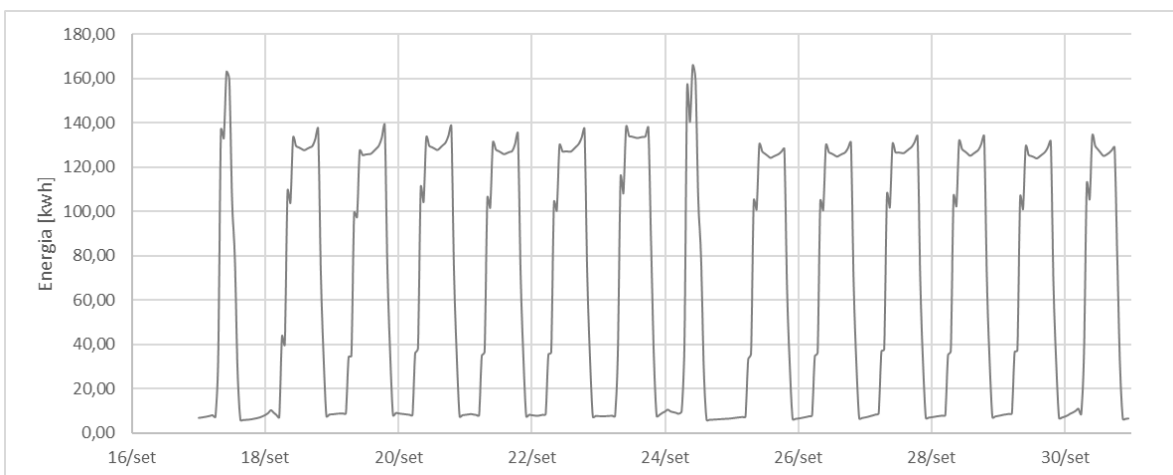
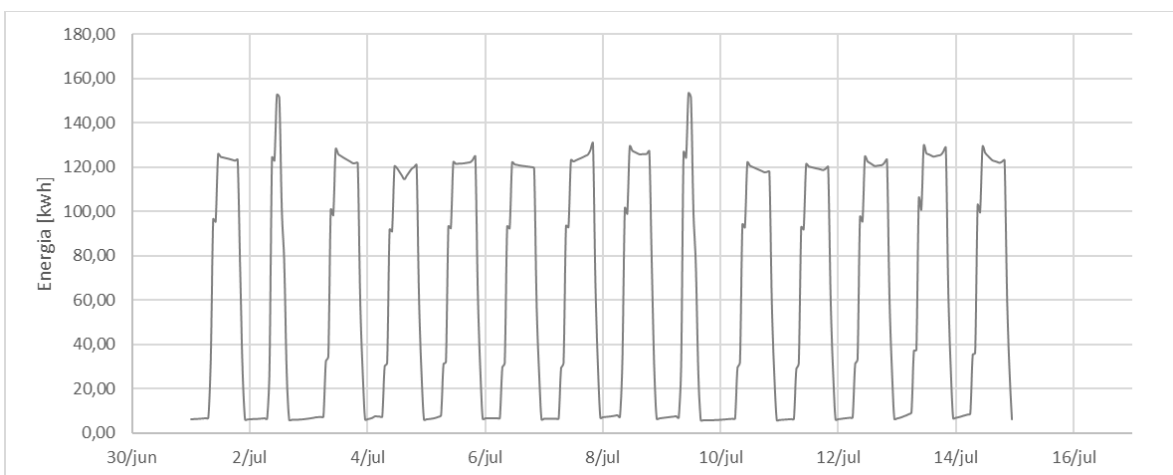
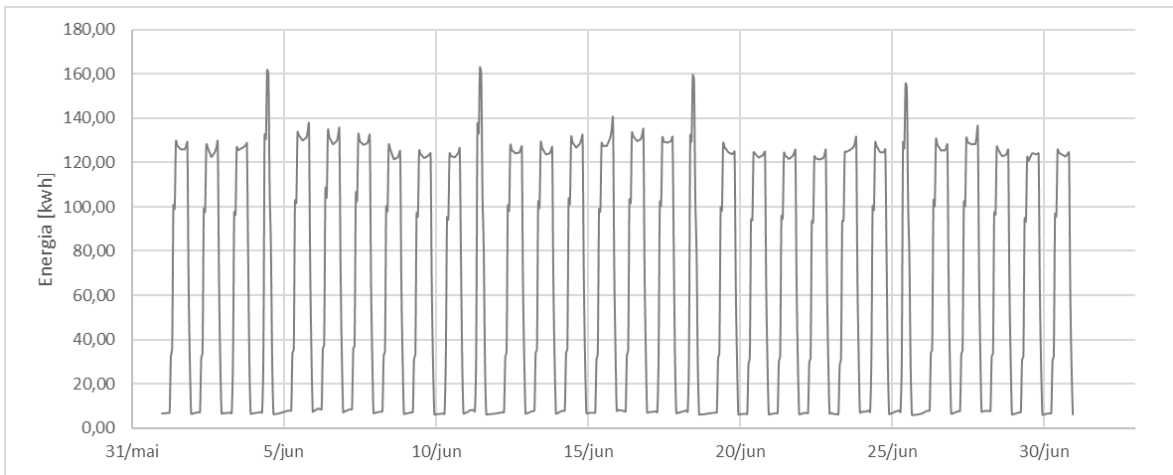
SIMULAÇÃO B - ENERGIA



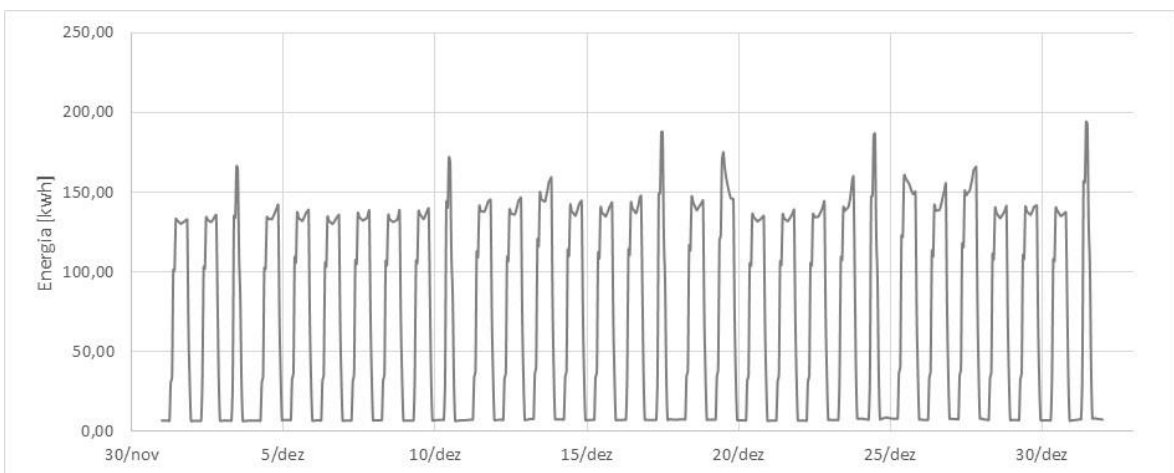
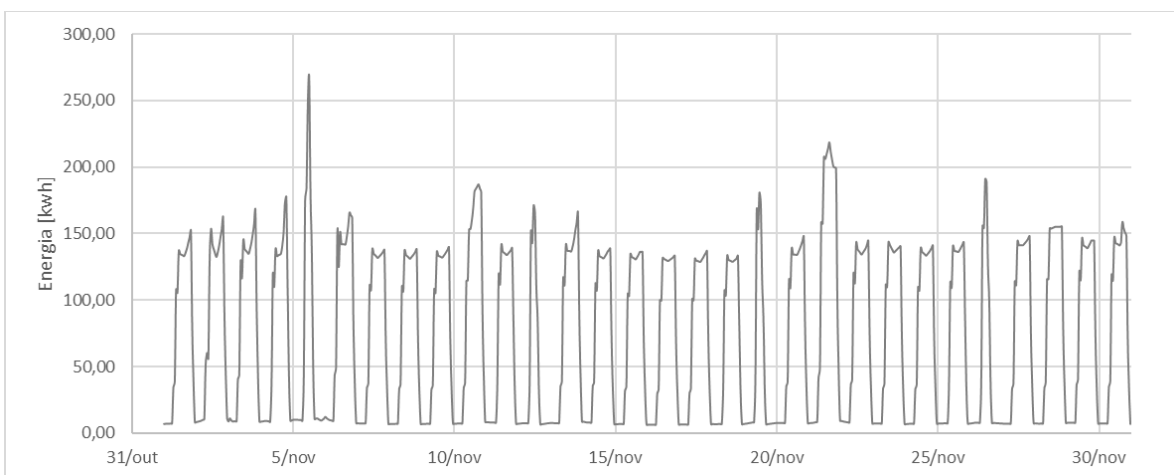
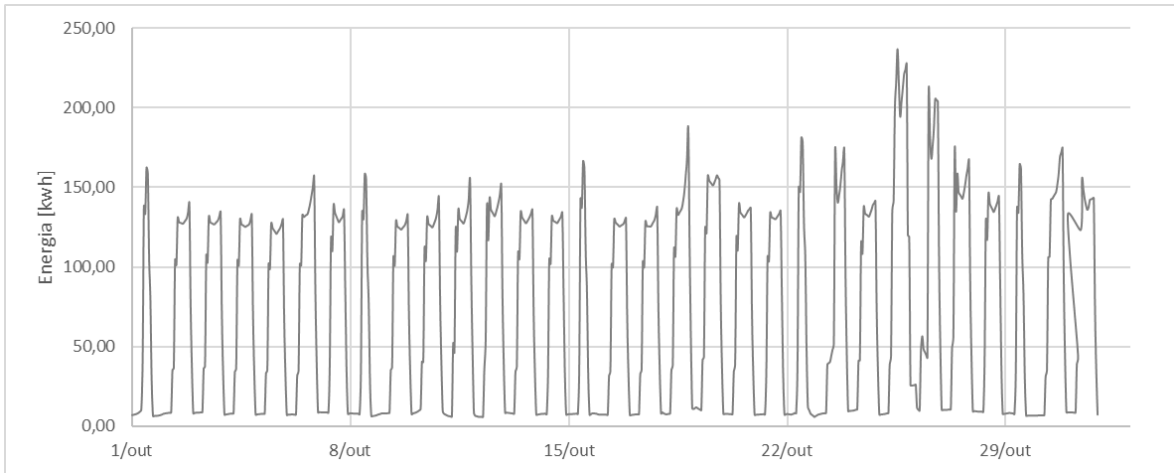
ANEXOS



ANEXOS



ANEXOS

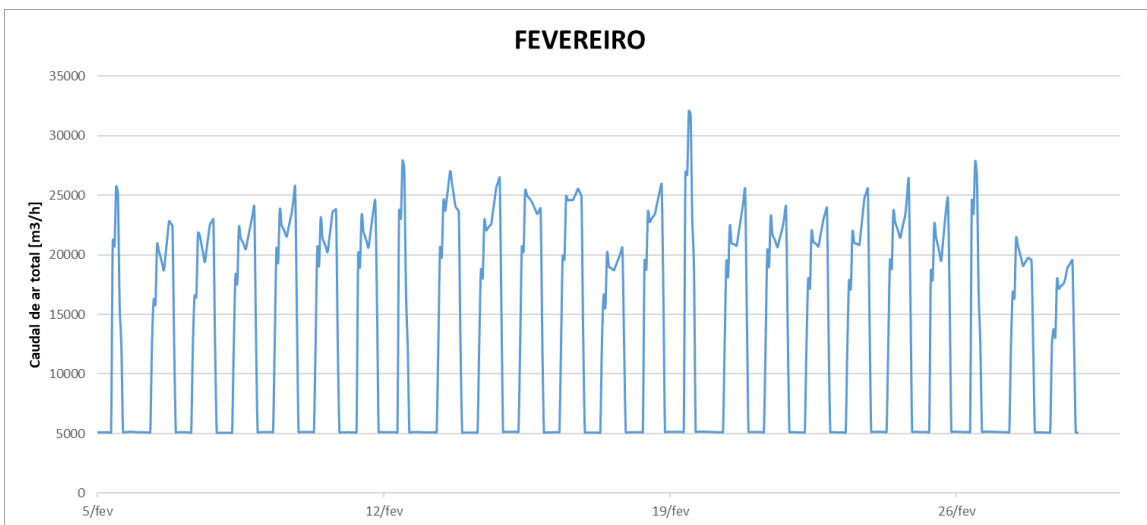
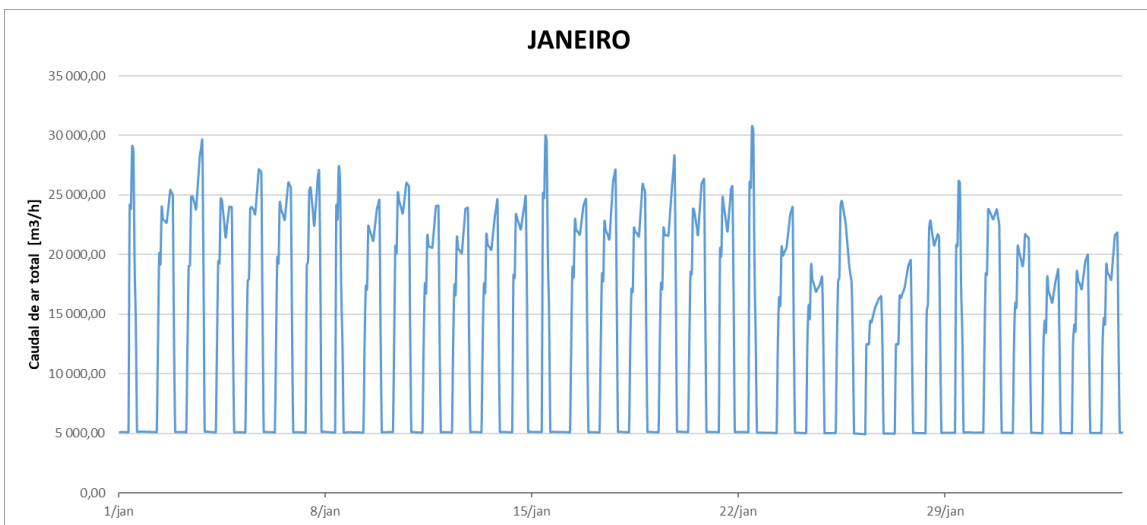


ANEXOS

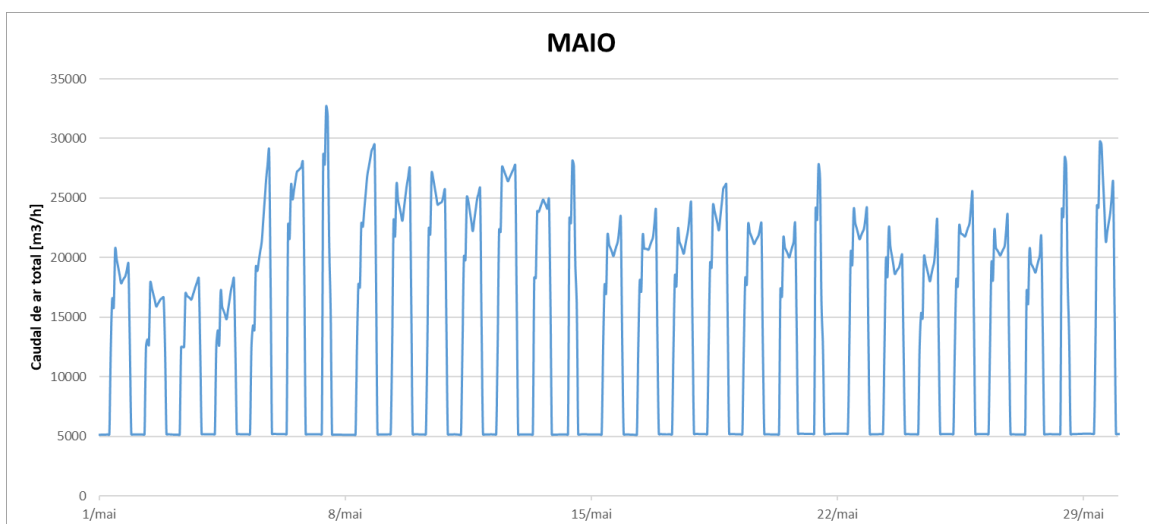
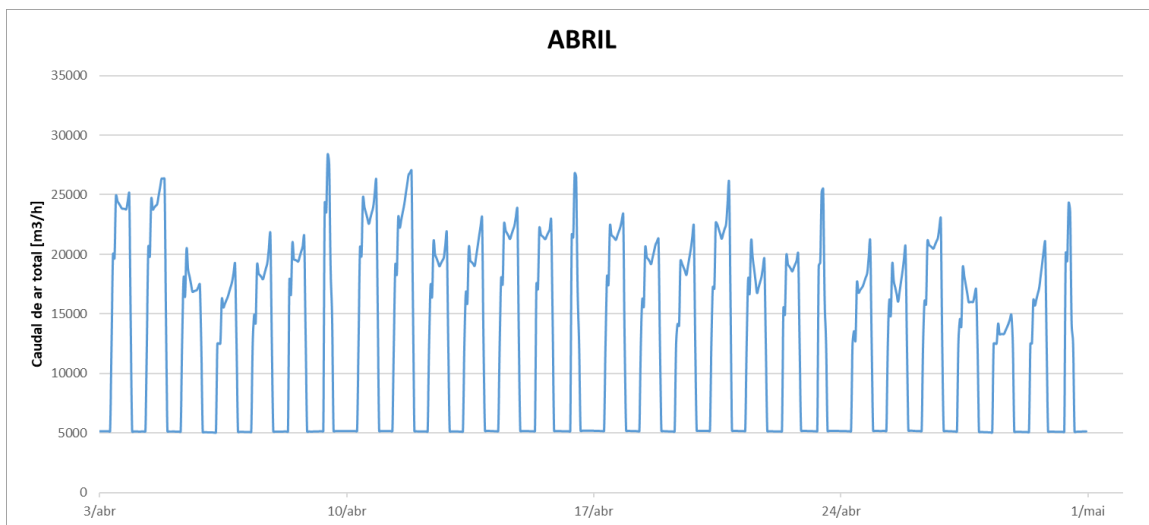
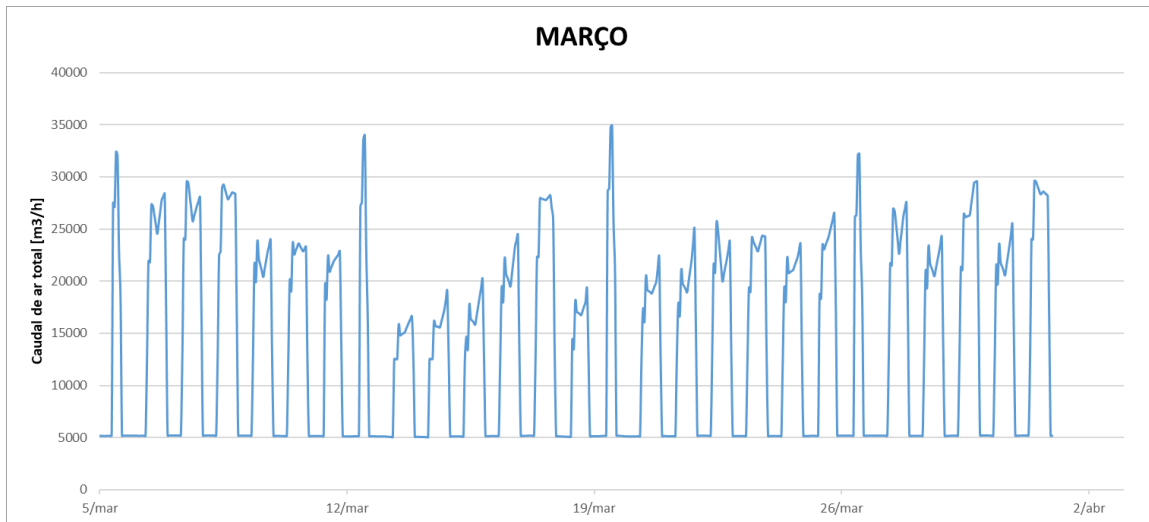
SIMULAÇÃO C

SIMULAÇÃO C - CAUDAL DE AR

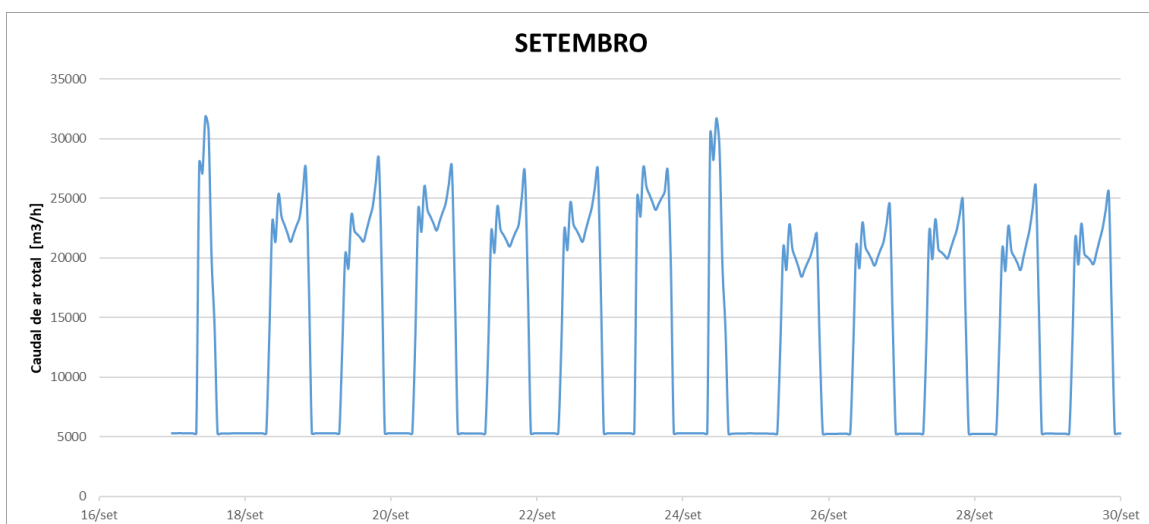
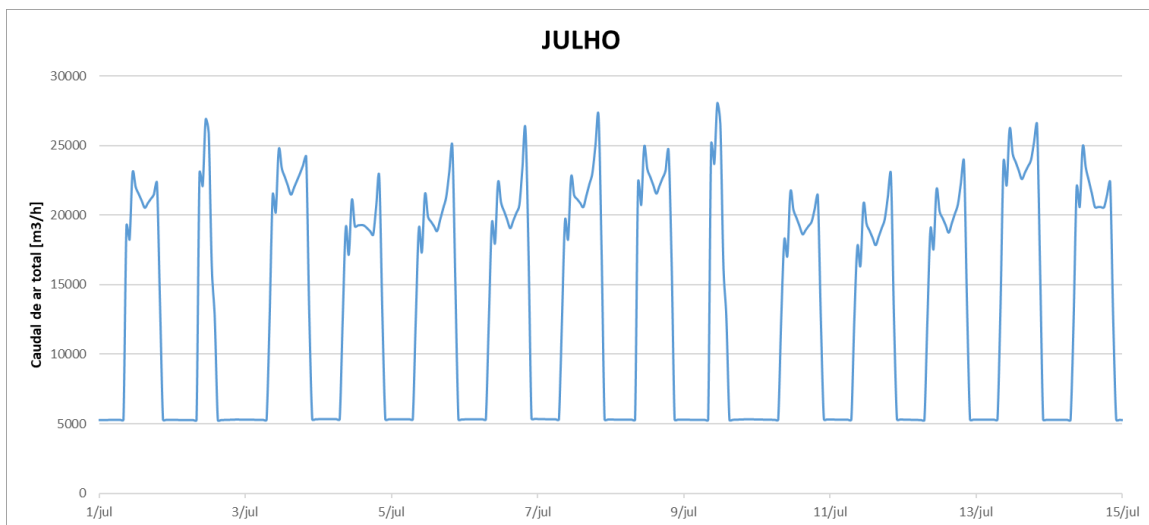
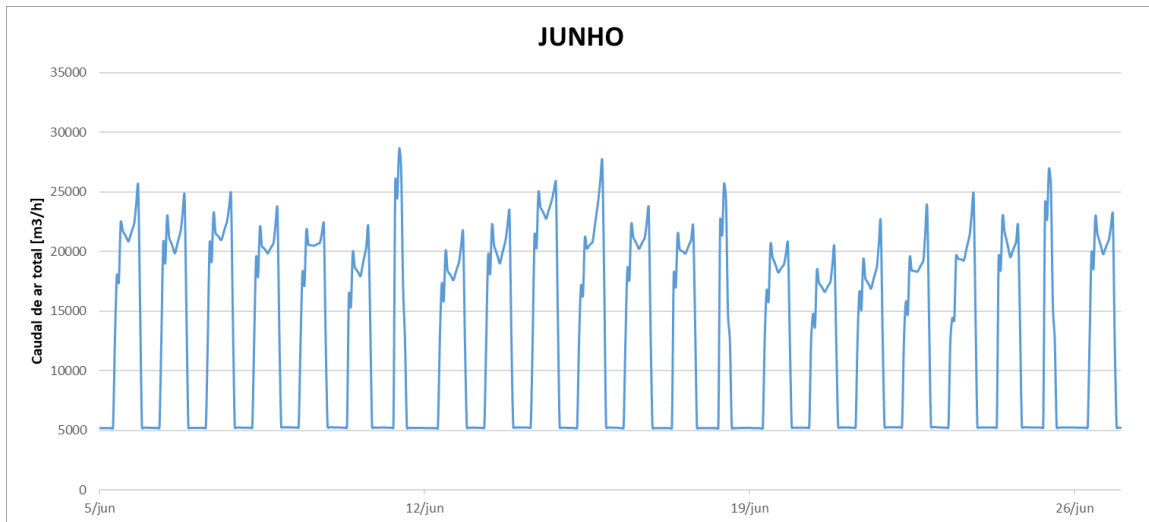
Gráficos mensais de evolução das necessidades de caudal de ar, para retirar a massa de água evaporada e/ou necessário para manter as necessidades de ar novo requeridas pela legislação em vigor.



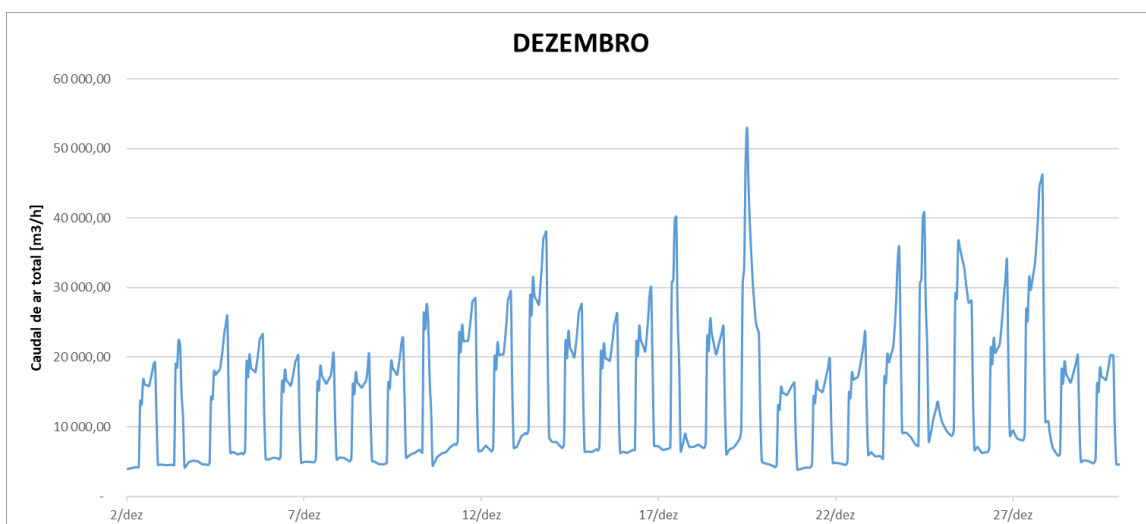
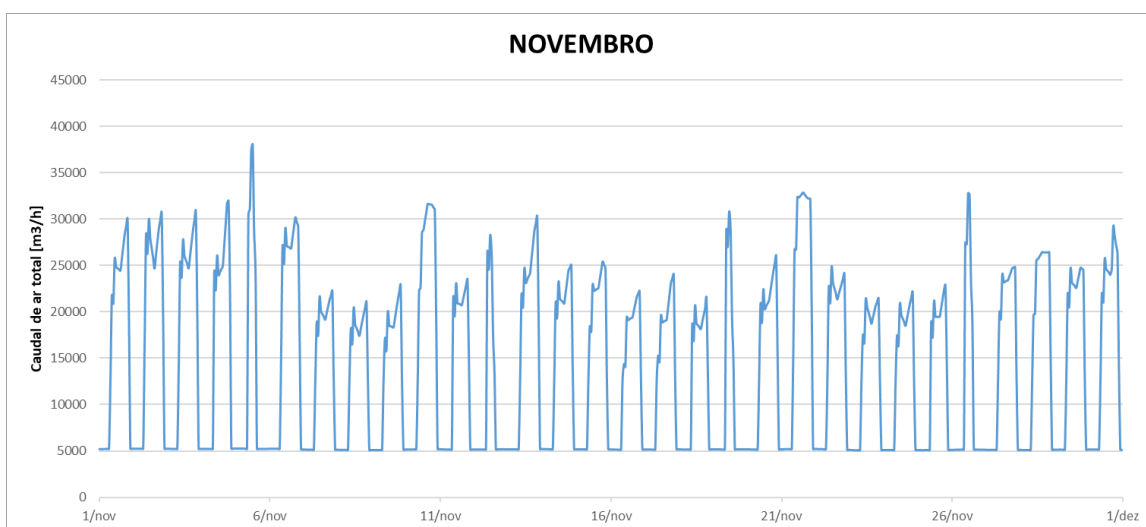
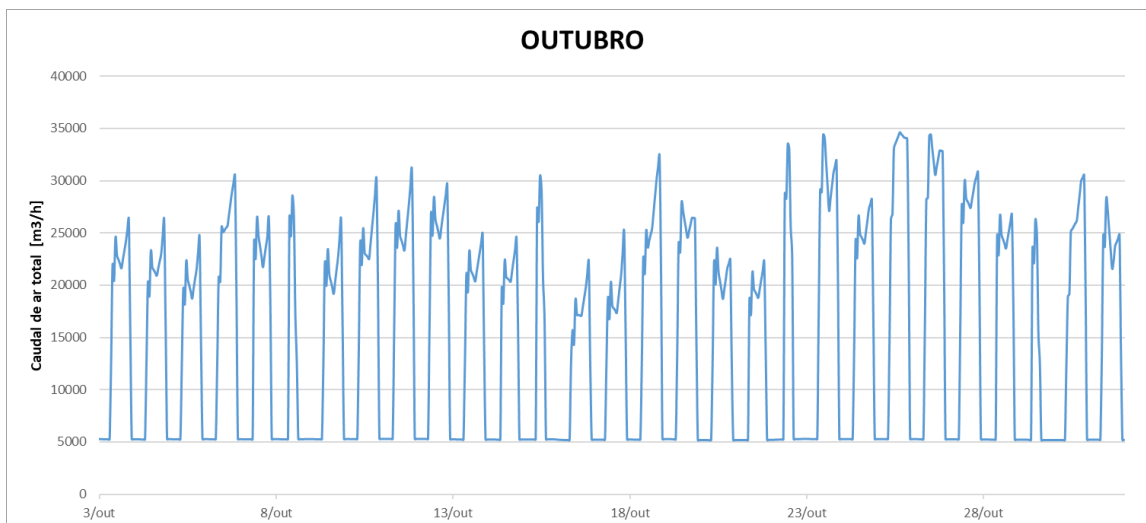
ANEXOS



ANEXOS

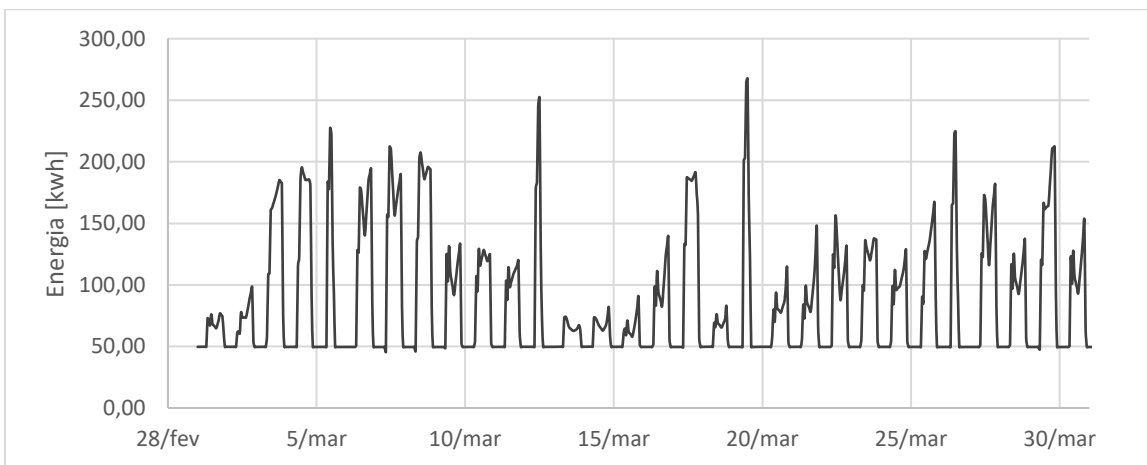
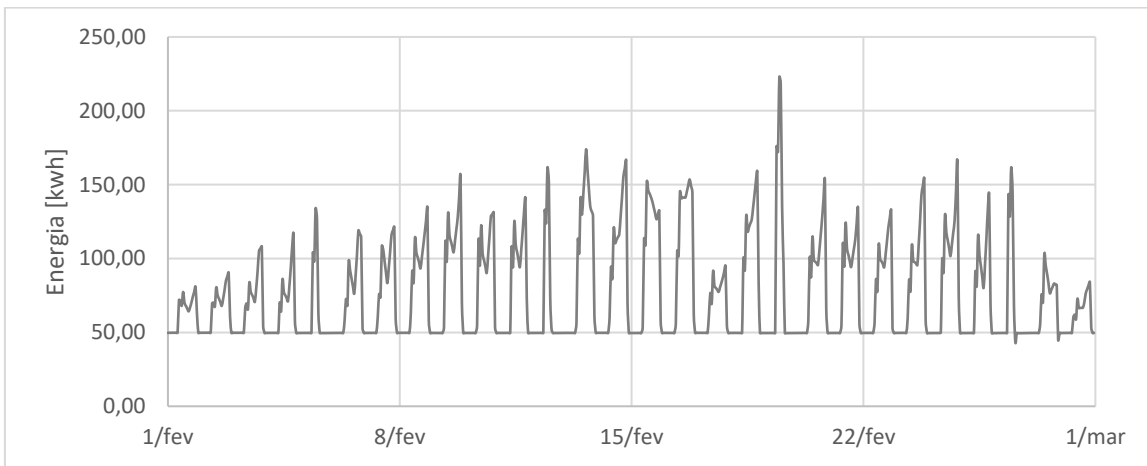
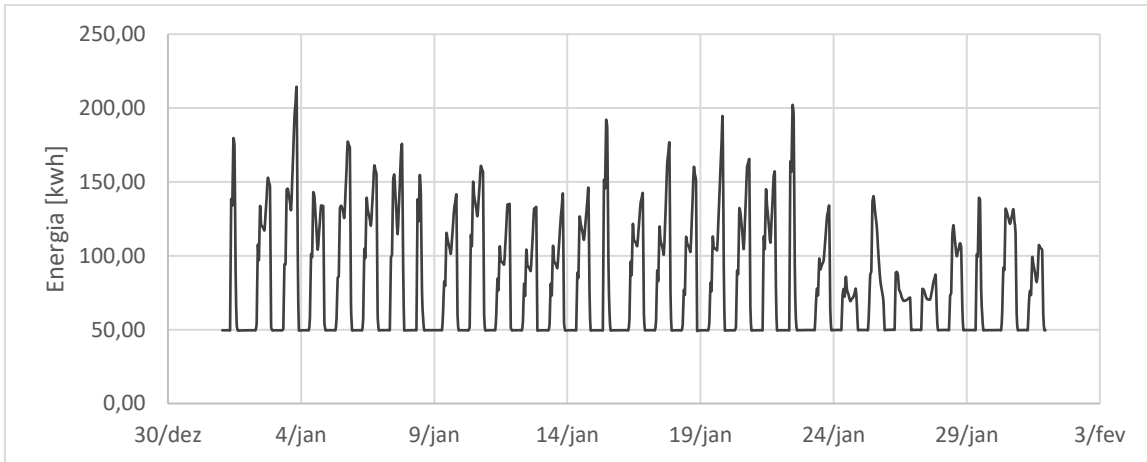


ANEXOS

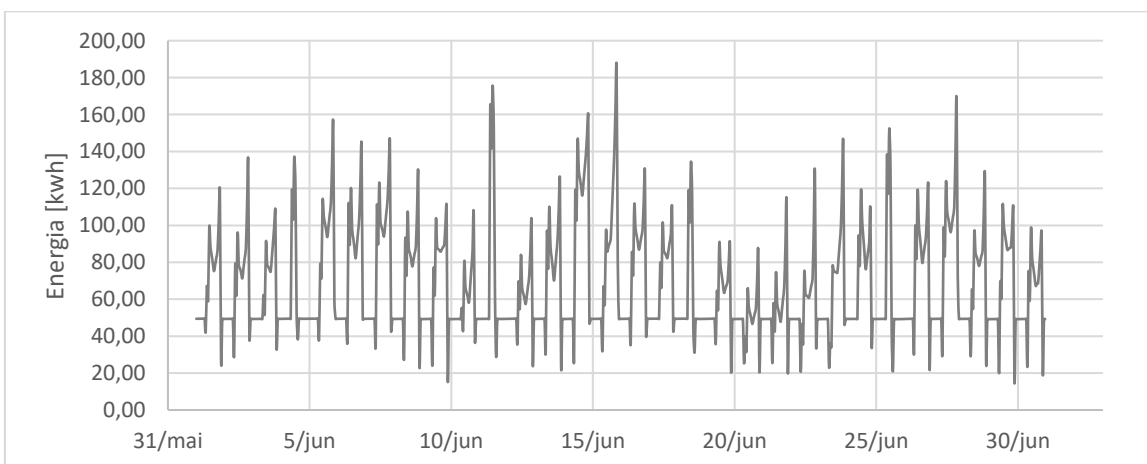
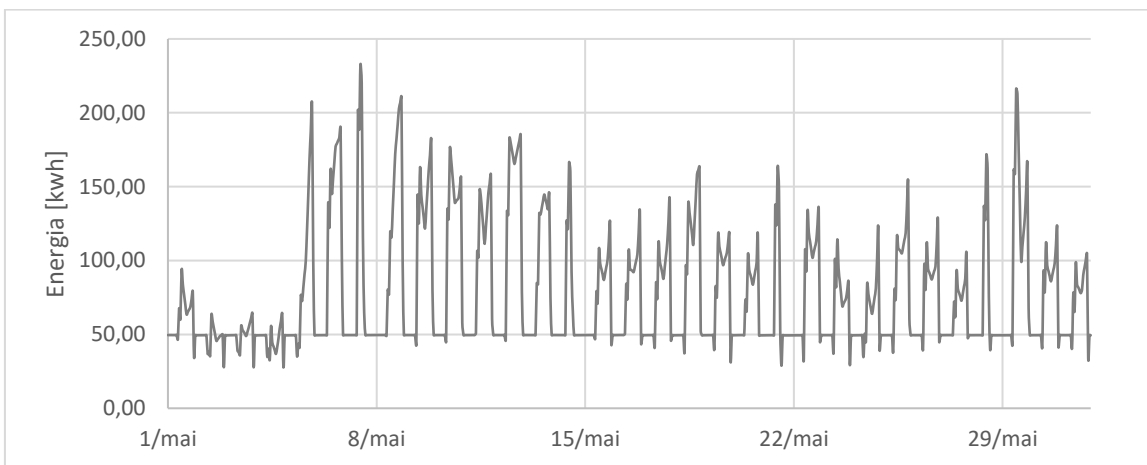
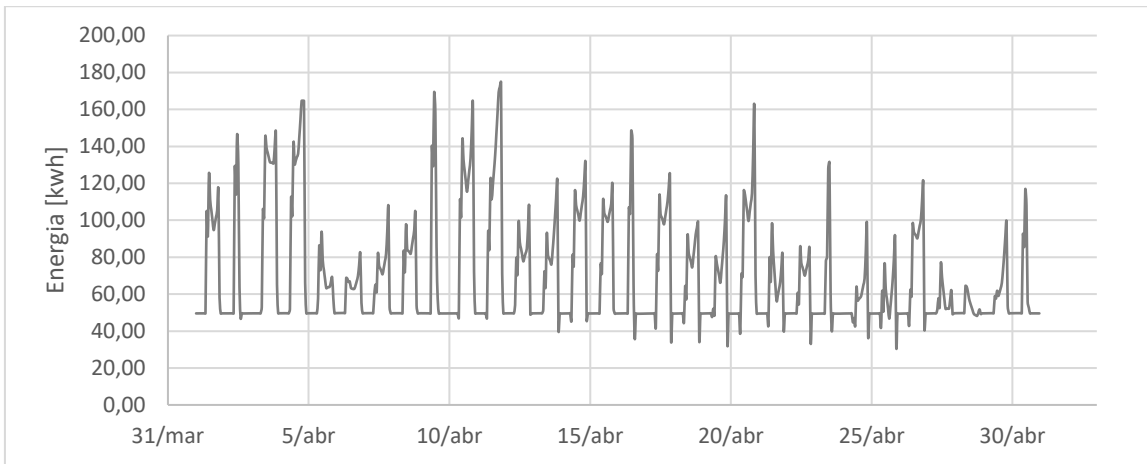


ANEXOS

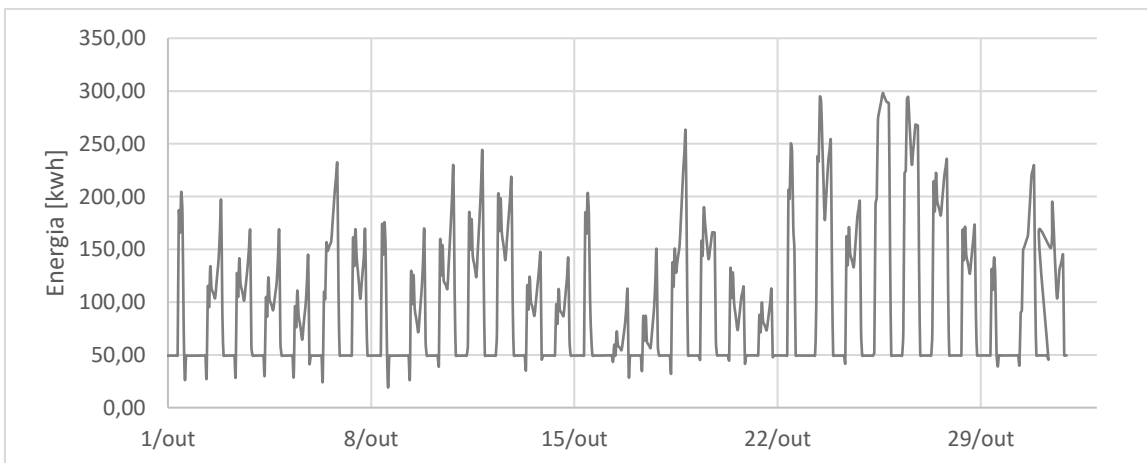
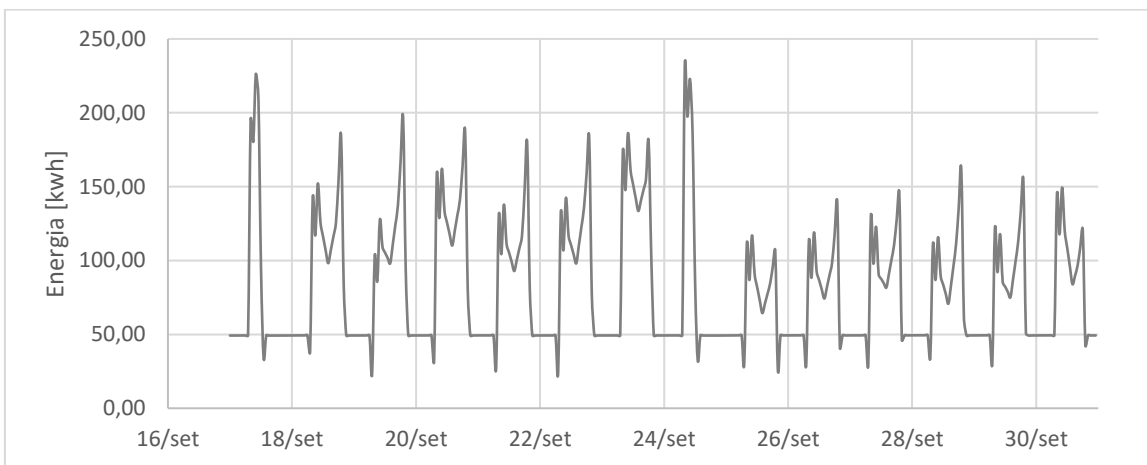
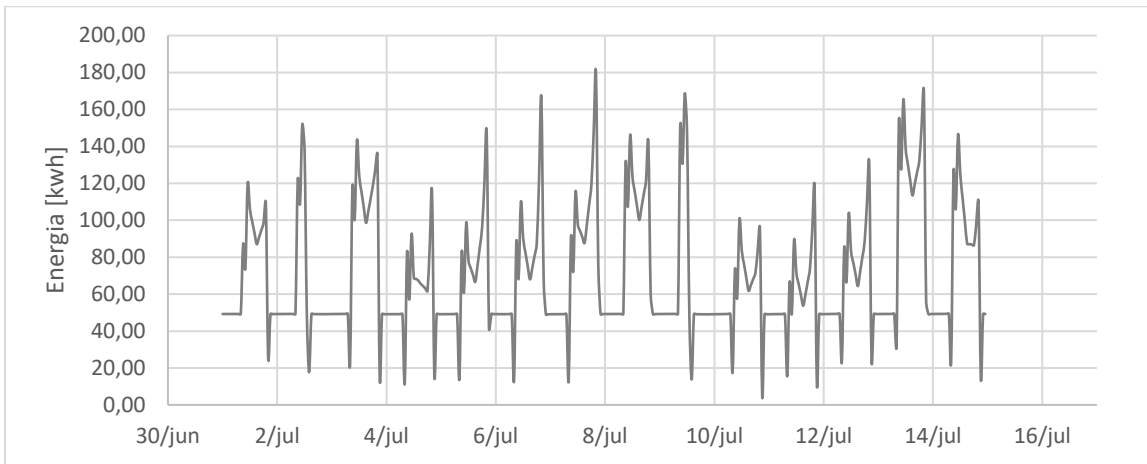
SIMULAÇÃO C - ENERGIA



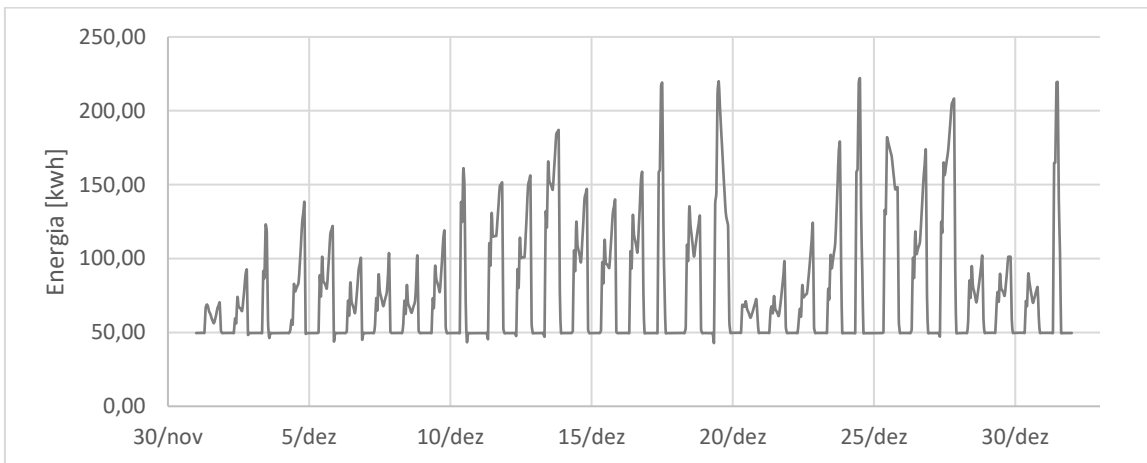
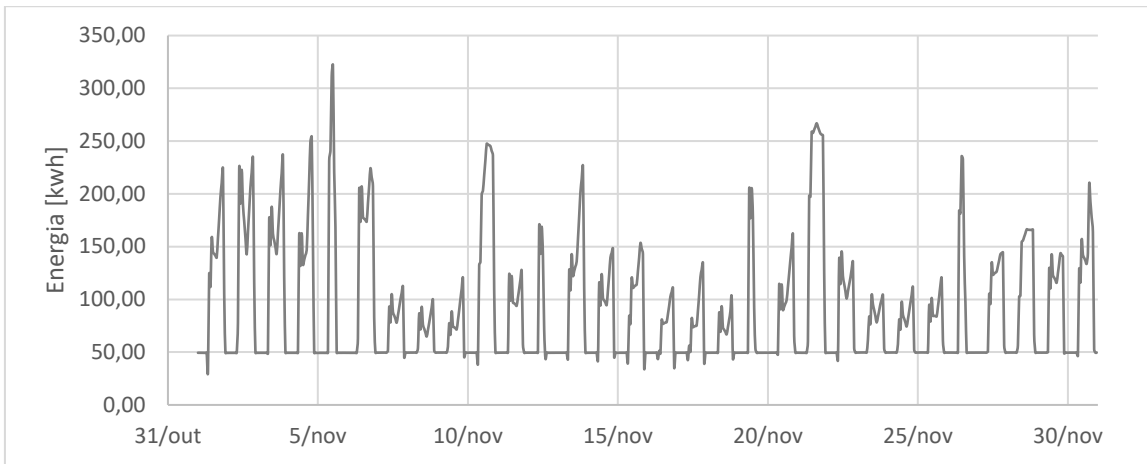
ANEXOS



ANEXOS



ANEXOS



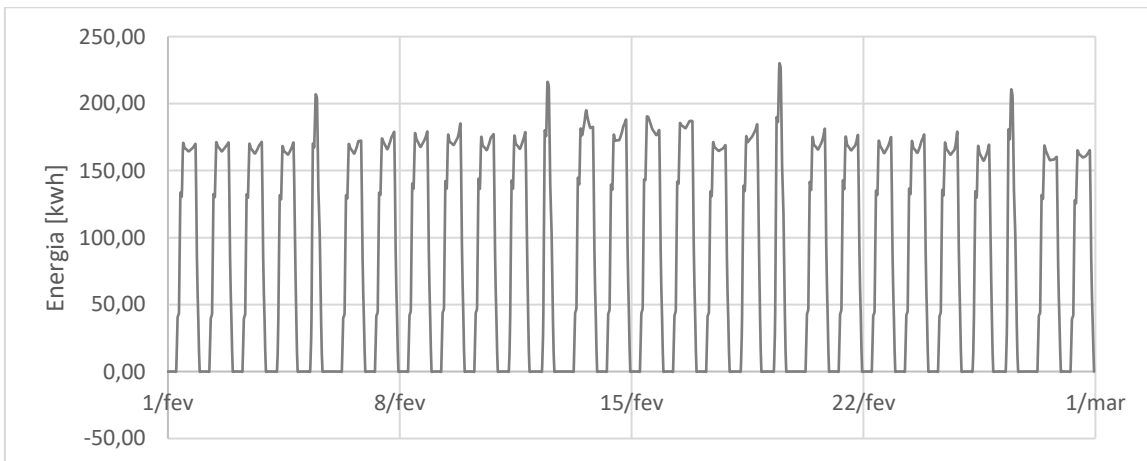
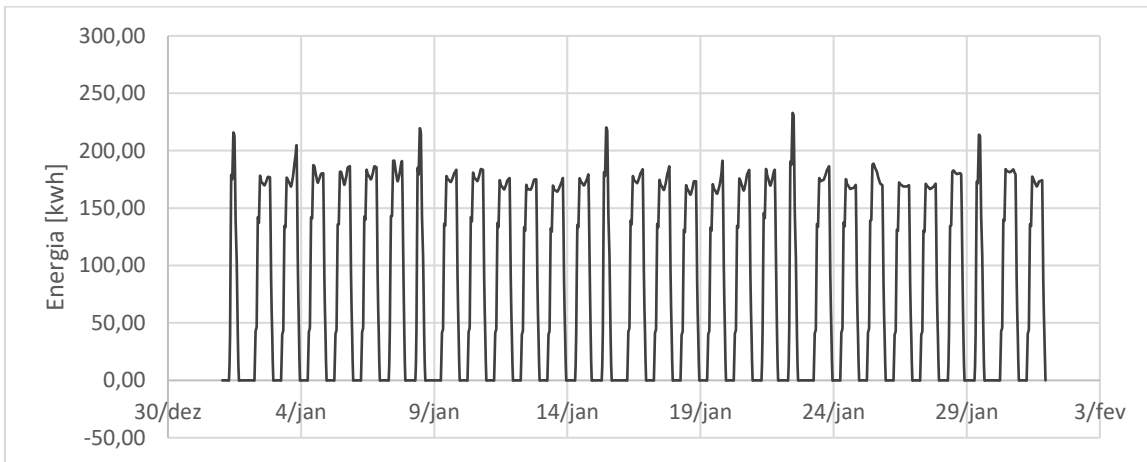
ANEXOS

SIMULAÇÃO D

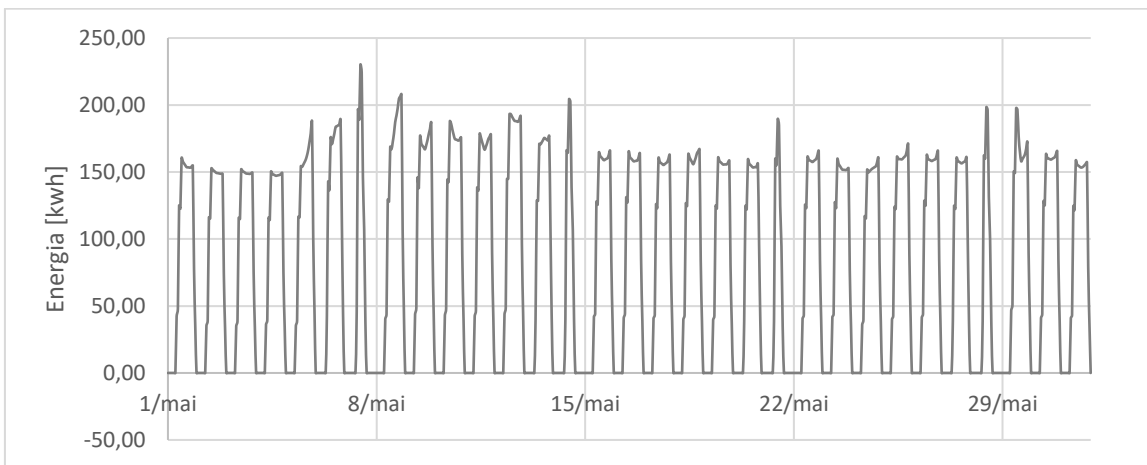
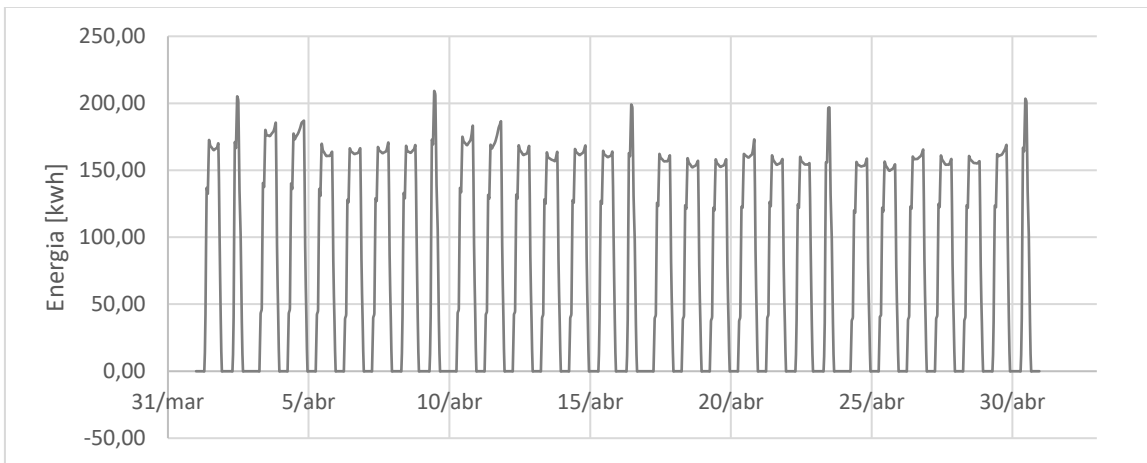
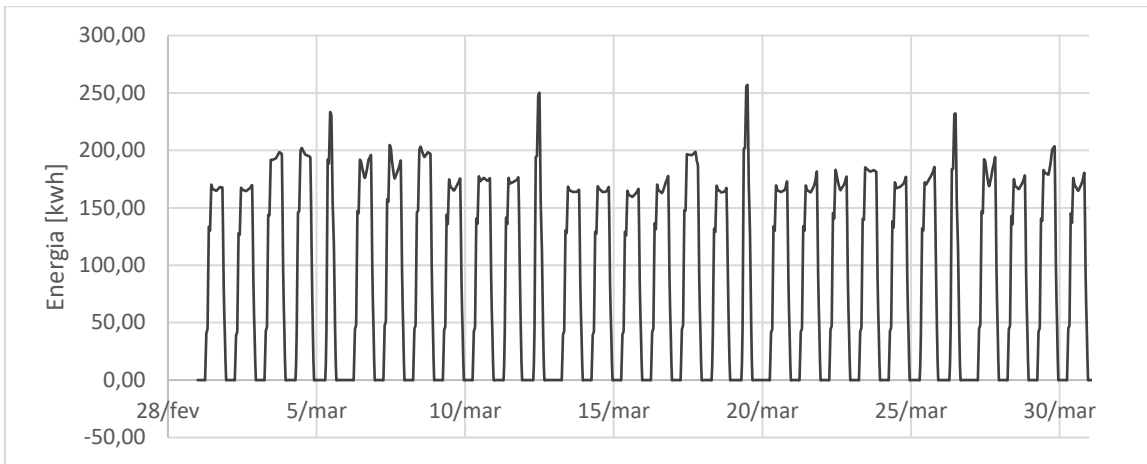
SIMULAÇÃO D - CAUDAL DE AR

Gráficos mensais de evolução das necessidades de caudal de ar na simulação C são idênticos aos da simulação A, pelo que se deverão ser consultados os gráficos que se encontram no anexo da simulação A – caudal de ar.

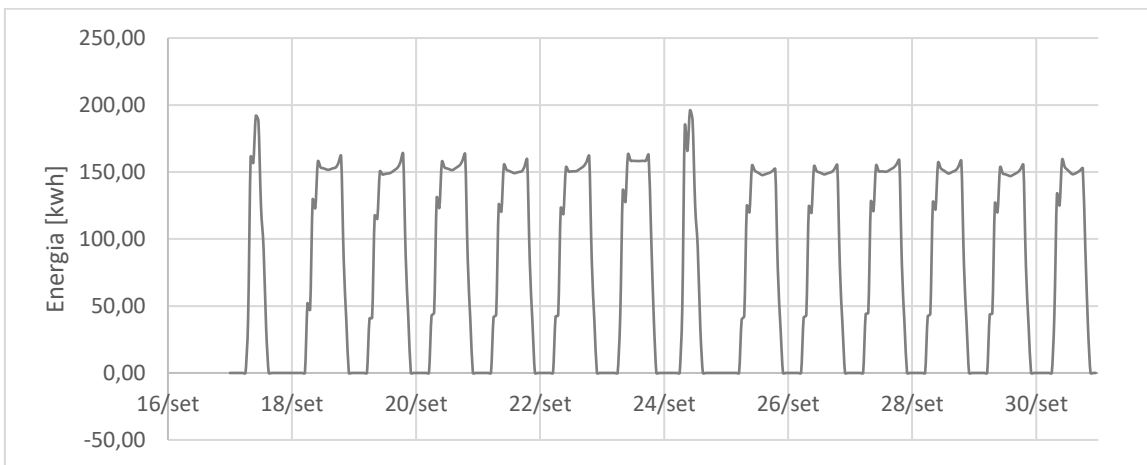
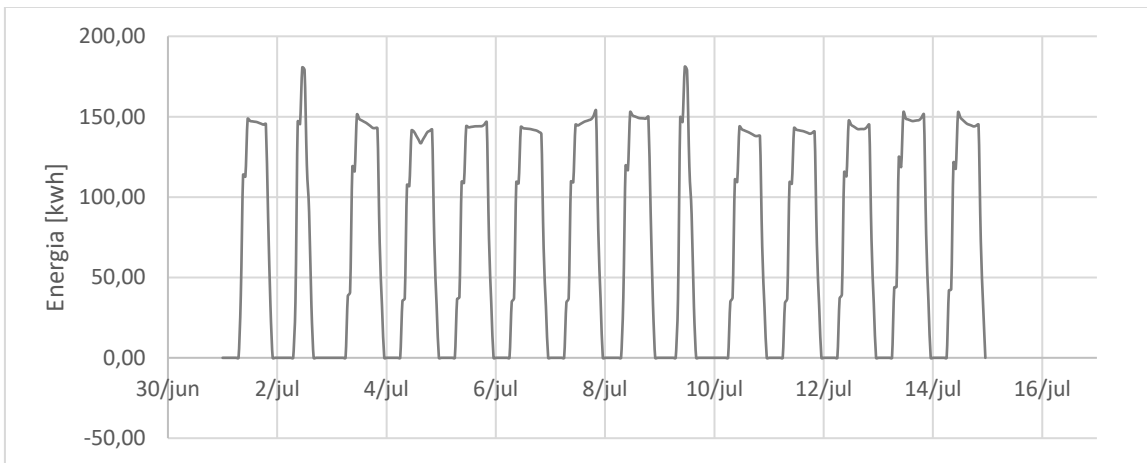
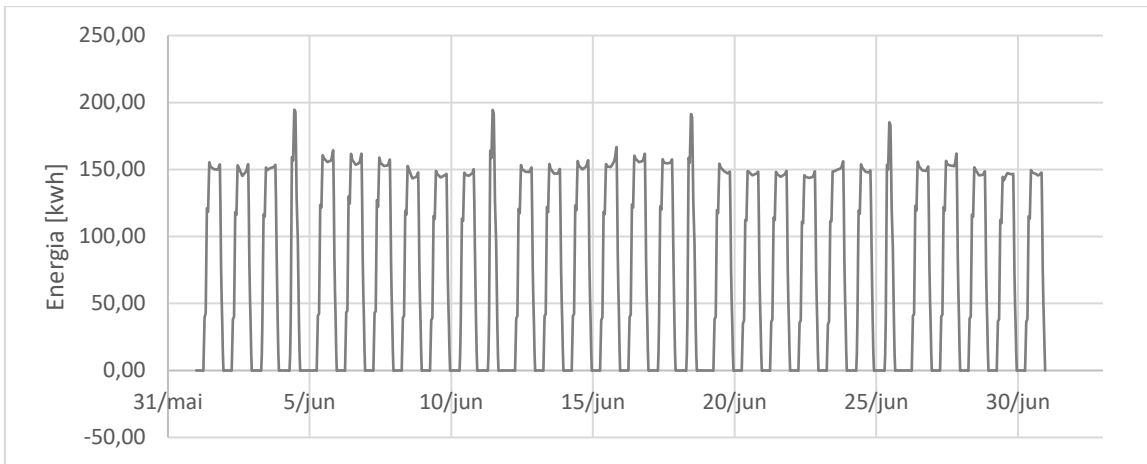
SIMULAÇÃO D - ENERGIA



ANEXOS



ANEXOS



ANEXOS

