

Impacto da Influência do Ar Novo na Climatização de Edifícios

Mestrado em Energias Sustentáveis

Cristóvão da Mota Tavares

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



28 de Outubro de 2012

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano de Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: Cristóvão da Mota Tavares, N° 1040803, 1040803@isep.ipp.pt,
crismotatavares@gmail.com

Orientação Científica: J. Paulo Oliveira

Empresa: ISQ, Instituto de Soldadura e Qualidade

Supervisão: José Carlos Pereira Lopes da Costa, loc@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



28 de Outubro de 2012

À meus pais

Agradecimentos

Ao Engenheiro J. Paulo Oliveira agradeço a oportunidade de realização deste trabalho, pela confiança demonstrada, críticas e sugestões.

Ao professor Lopes da Costa agradeço o apoio e a orientação prestada.

Aos meus colegas e amigos a ajuda indispensável, sem a qual teria sido bem mais difícil a concretização deste trabalho.

Por fim, à minha família e à Carla, pelo apoio incondicional e perseverança.

Resumo

Este trabalho surgiu do âmbito da Tese de Dissertação do Mestrado em Energias Sustentáveis do Instituto Superior de Engenharia do Porto, tendo o acompanhamento dos orientadores da empresa Laboratório Ecotermolab do Instituto de Soldadura e Qualidade e do Instituto Superior de Engenharia do Porto, de forma a garantir a linha traçada indo de acordo aos objectivos propostos.

A presente tese abordou o estudo do impacto da influência do ar novo na climatização de edifícios, tendo como base de apoio à análise a simulação dinâmica do edifício em condições reais num programa adequado, acreditado pela norma ASHRAE 140-2004.

Este trabalho pretendeu evidenciar qual o impacto da influência do ar novo na climatização de um edifício com a conjugação de vários factores, tais como, ocupação, actividades e padrões de utilização (horários), iluminação e equipamentos, estudando ainda a possibilidade do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling”.

O princípio partiu fundamentalmente por determinar até que ponto se pode climatizar recorrendo único e exclusivamente à introdução de ar novo em regime de “Free-Cooling”, através de um sistema tudo-ar de Volume de Ar Variável - VAV, sem o apoio de qualquer outro sistema de climatização auxiliar localizado no espaço, respeitando os caudais mínimos impostos pelo RSECE (Decreto-Lei 79/2006).

Numa primeira fase foram identificados todos os dados relativos à determinação das cargas térmicas do edifício, tendo em conta todos os factores e contributos alusivos ao valor da carga térmica, tais como a transmissão de calor e seus constituintes, a iluminação, a ventilação, o uso de equipamentos e os níveis de ocupação.

Consequentemente foram elaboradas diversas simulações dinâmicas com o recurso ao programa *EnergyPlus* integrado no *DesignBuilder*, conjugando variáveis desde as envolventes à própria arquitectura, perfis de utilização ocupacional, equipamentos e taxas de renovação de ar nos diferentes espaços do edifício em estudo.

Obtiveram-se vários modelos de forma a promover um estudo comparativo e aprofundado que permitisse determinar o impacto do ar novo na climatização do edifício, perspectivando a capacidade funcional do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling”. Deste modo, a análise e comparação dos dados obtidos permitiram chegar às seguintes conclusões:

- ✓ Tendo em consideração que para necessidades de arrefecimento bastante elevadas, o “Free-Cooling” diurno revelou-se pouco eficaz ou quase nulo, para o tipo de clima verificado em Portugal, pois o diferencial de temperatura existente entre o exterior e o interior não é suficiente de modo a tornar possível a remoção das cargas de forma a baixar a temperatura interior para o intervalo de conforto.
- ✓ Em relação ao “Free-Cooling” em horário nocturno ou pós-laboral, este revelou-se bem mais eficiente. Obtiveram-se prestações muito interessantes sobretudo durante as estações de aquecimento e meia-estação, tendo em consideração o facto de existir necessidades de arrefecimento mesmo durante a estação de aquecimento.
- ✓ Referente à ventilação nocturna, isto é, em períodos de madrugada e fecho do edifício, concluiu-se que tal contribui para um abaixamento do calor acumulado durante o dia nos materiais construtivos do edifício e que é libertado ou restituído posteriormente para os espaços em períodos mais tardios.
- ✓ De entre as seguintes variáveis, aumento de caudal de ar novo insuflado e o diferencial de temperatura existente entre o ar exterior e interior, ficou demonstrado que este último teria maior peso contributivo na remoção do calor.
- ✓ Por fim, é ponto assente que de um modo geral, um sistema de climatização será sempre indispensável devido a cargas internas elevadas, requisitos interiores de temperatura e humidade, sendo no entanto aconselhado o “Free-Cooling” como um opção viável a incorporar na solução de climatização, de forma a promover o arrefecimento natural, a redução do consumo energético e a introdução activa de ar novo.

Palavras-Chave

“Free-Cooling”, “*DesignBuilder*”, “*Energy Plus*”, simulação dinâmica, RSECE, RCCTE, ventilação natural, conforto térmico, climatização de edifícios, consumo energético, ar novo.

Abstract

This work arose from the scope of the MSc Dissertation Thesis in Sustainable Energy of the Institute of Engineering of Porto, with the monitoring of guiding companies Ecotermolab Laboratory of Welding and Quality Institute and Institute Superior of Engineering of Porto, to ensure the drawn line going according to the objectives.

This thesis addressed the impact study of the influence of fresh air in the air conditioning of buildings, based on analysis to support the dynamic simulation of the building under real conditions in a suitable program, accredited by ASHRAE 140-2004.

This study sought to highlight the impact of the influence of fresh air in the cooling of a building with the combination of several factors such as occupation, activities and patterns of use (hours), and lighting equipment. Studying the possibility of the system to work on a "Free Cooling" regime.

The principle set out by fundamentally determine to what extent can weatherize using only and exclusively to the introduction of fresh air on a "Free Cooling", through an all-air system Variable Air Volume - VAV, without the support of any other auxiliary HVAC system located in space, respecting the minimum flows imposed by RSECE (Decree-Law 79/2006).

Initially identified all data relating to the determination of thermal load of the building, taking into account all factors and input depicting the value of the thermal load, such as the transmission of heat and its constituents, illumination, ventilation, using equipment and occupancy levels.

Consequently several dynamic simulations were prepared with the use of integrated program *EnergyPlus* in the *DesignBuilder*, combining variables from the surrounding architecture to own, use occupational profiles, equipment and air renewal rates in different areas of the building under study.

Varied models were obtained, in order to promote an in-depth comparative study that could determine the impact of new air cooling in the building, viewing the functional

capacity of the system to work on a "Free Cooling" regime. Thus, the analysis and comparison of the data obtained allowed the following conclusions:

- ✓ Taking into account that for very high cooling requirements, the "free-cooling" day proved ineffective or nearly zero, for the type of environment found in Portugal. For the temperature differential between the outside and inside is not sufficient to make possible the removal of cargo in order to lower the inside temperature to the comfort range.
- ✓ Regarding "Free Cooling" at night time or after work, this proved to be much more efficient. Benefits obtained were very interesting, especially during the heating seasons and mid-season, taking into consideration the fact that there needs cooling even during the heating season.
- ✓ Referring to night ventilation, i.e. in the morning and closing periods of the building, it was concluded that this contributes to lowering the heat accumulated during the day in the building and construction materials that is subsequently released or returned to the spaces during a later period.
- ✓ From the following variables, increasing the flow of fresh air inflated and the temperature differential between the indoor and outdoor air, it was confirmed that the latter had higher weight in contributory heat removal.
- ✓ Finally, it is undisputed that in general, a cooling system will always be necessary due to internal loads, elevated conditions of temperature and humidity inside. However, the "free-cooling" as a viable option to incorporate in cooling the solution so as to promote the natural cooling, reducing the active power consumption and the introduction of fresh air.

Keywords

"Free Cooling", "*DesignBuilder*", "*Energy Plus*", dynamic simulation, RSECE, RCCTE, natural ventilation, thermal comfort, air conditioning of buildings, energy consumption, new air.

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ARREFECIMENTO EM REGIME DE “FREE-COOLING”	1
1.2	REGULAMENTAÇÃO EM VIGOR	2
1.2.1	<i>SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios.....</i>	<i>2</i>
1.2.2	<i>RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios</i>	<i>2</i>
1.2.3	<i>RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.....</i>	<i>3</i>
1.3	CONFORTO TÉRMICO.....	4
1.4	PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMULAÇÃO.....	5
1.4.1	<i>DesignBuilder/EnergyPlus.....</i>	<i>6</i>
1.5	DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	7
1.6	SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	15
1.7	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	16
1.8	LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO EDIFÍCIO.....	19
2	DESENVOLVIMENTO.....	25
2.1	ESTUDO DAS CARGAS TÉRMICAS	25
2.2	PARAMETRIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	30
2.2.1	<i>Modelo tridimensional.....</i>	<i>30</i>
2.2.2	<i>Parametrização da envolvente</i>	<i>35</i>
2.2.3	<i>Parametrização da taxa de ocupação e da renovação de ar.....</i>	<i>38</i>
2.2.4	<i>Parametrização da iluminação</i>	<i>41</i>
2.2.5	<i>Parametrização de equipamentos.....</i>	<i>43</i>
2.2.6	<i>Parametrização do sistema de climatização</i>	<i>46</i>
2.2.7	<i>Parametrização dos dados de saída</i>	<i>51</i>
3	RESULTADOS OBTIDOS.....	53
3.1	SIMULAÇÃO COM CARGA OCUPACIONAL + EQUIPAMENTOS TOTAL E CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO REGULAMENTAR	53
3.1.1	<i>Resultados de simulação da Sala E1</i>	<i>55</i>
3.1.2	<i>Resultados de simulação da Sala E5</i>	<i>57</i>
3.1.3	<i>Resultados de simulação do Balneário Masculino.....</i>	<i>57</i>
3.2	SIMULAÇÃO COM CARGA OCUPACIONAL + EQUIPAMENTOS TOTAL E CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO REGULAMENTAR AGRAVADO EM 20%.....	58
3.2.1	<i>Resultados de simulação da Sala E1</i>	<i>59</i>
3.2.2	<i>Resultados de simulação da Sala E5</i>	<i>60</i>

3.2.3	<i>Resultados de simulação do Balneário Masculino</i>	61
3.3	COMPARATIVO ENTRE CAUDAL DE AR NOVO REGULAMENTAR E AGRAVADO EM 20%.....	61
3.4	SIMULAÇÃO COM 50% DA CARGA OCUPACIONAL + EQUIPAMENTOS E CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO REGULAMENTAR	66
3.4.1	<i>Resultados de simulação da Sala E1</i>	66
3.4.2	<i>Resultados de simulação da Sala E5</i>	68
3.4.3	<i>Resultados de simulação do Balneário Masculino</i>	70
3.5	SIMULAÇÃO COM 100% DA CARGA OCUPACIONAL + EQUIPAMENTOS COM CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO REGULAMENTAR E TEMPERATURA INTERIOR MÁXIMA DE 26°C	72
3.6	SIMULAÇÃO COM 100% DA CARGA OCUPACIONAL SEM EQUIPAMENTOS E COM CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO REGULAMENTAR	75
3.7	SIMULAÇÃO COM 100% DA CARGA OCUPACIONAL + EQUIPAMENTO E CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO REGULAMENTAR COM VENTILAÇÃO NOCTURNA	77
3.8	DEMONSTRAÇÃO DOS GANHOS INTERNOS	79
4	CONCLUSÃO	83
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	87

Índice de Ilustrações

Ilustração 1 - Localização geográfica do edifício Ecotermolab.....	8
Ilustração 2 - Perfil do terreno até ao mar	9
Ilustração 3 - Fachadas do Ecotermolab	11
Ilustração 4 - Planta do Piso 1	12
Ilustração 5 - Planta do Piso 0	13
Ilustração 6 - Planta do Piso -1	14
Ilustração 7 - Difusores Displacement	17
Ilustração 8 - Representação da UTAN 1 na SGTC (ISQ).....	18
Ilustração 9 - Representação da UTAN 2 na SGTC (ISQ).....	18
Ilustração 10 - Planta com distribuição das iluminárias do Piso -1	21
Ilustração 11 - Planta com distribuição de iluminárias do Piso 0	22
Ilustração 12 - Planta com distribuição das iluminárias do Piso 1	23
Ilustração 13 - Balanço térmico do edifício [7]	26
Ilustração 14 - Orientação solar do edifício.....	27
Ilustração 15 - Modelo tridimensional do edifício (Fachada Oeste).....	31
Ilustração 16 - Modelo tridimensional do edifício (Fachada este).....	32
Ilustração 17 - Modelo tridimensional do Piso -1	33
Ilustração 18 - Modelo tridimensional do Piso 0	34
Ilustração 19 - Modelo tridimensional do Piso 1	35
Ilustração 20 - Template referente a Parede Este.....	36
Ilustração 21 - Input Data da Parede Este	36
Ilustração 22 - Input Data da Parede Este	37
Ilustração 23 - Layout dos elementos construtivos da Sala E1.....	38
Ilustração 24 - Horário de funcionamento do edifício	41
Ilustração 25 - Gráfico da potência dissipada pela iluminação.....	42
Ilustração 26 – Template de iluminação da Central Térmica	43
Ilustração 27 - Gráfico da densidade da carga térmica dos equipamentos	44
Ilustração 28 - Input do tipo de actividade da Sala E5.....	45
Ilustração 29 - Template do sistema VAV no <i>DesignBuilder</i>	47
Ilustração 30 - Parametrização da UTAN 1.....	48
Ilustração 31 - Parametrização UTAN 1	49
Ilustração 32 - Parametrização da UTAN 1.....	50
Ilustração 33 - Parametrização do sistema de climatização.....	51
Ilustração 34 - Output de simulação da Sala E1	54
Ilustração 35 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1	62

Ilustração 36 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling da Sala E1	62
Ilustração 37 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E5	63
Ilustração 38 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling da Sala E5	64
Ilustração 39 - Gráfico comparativo da variação da potência do Balneário Masculino	65
Ilustração 40 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" do Balneário Masculino	65
Ilustração 41 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1	67
Ilustração 42 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1	67
Ilustração 43 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E5	69
Ilustração 44 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E5	70
Ilustração 45 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" do Balneário Masculino	71
Ilustração 46 - Gráfico comparativo da variação da potência do Balneário Masculino	72
Ilustração 47 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1	74
Ilustração 48 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1	74
Ilustração 49 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1	76
Ilustração 50 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1	76
Ilustração 51 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1	78
Ilustração 52 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1	78
Ilustração 53 - Ganhos por ocupação	80
Ilustração 54 - Ganhos por iluminação	80
Ilustração 55 - Ganhos por equipamentos	80
Ilustração 56 - Média anual dos ganhos – Sala E1	81

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios de Habitação.....	3
Tabela 2 - Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios de Serviços.....	4
Tabela 3 - Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios Existentes.....	4
Tabela 4 – Dados climáticos de referência.....	9
Tabela 5 - Verificação Regulamentar - Envolvente opaca.....	15
Tabela 6 - Verificação Regulamentar - Vãos envidraçados.....	16
Tabela 7 - Potência instalada por tipo de tecnologia.....	19
Tabela 8 - Potência total instalada por piso.....	20
Tabela 9 – Taxas de calor emitido por ocupante de acordo com o tipo de actividade.....	29
Tabela 10 - Densidades de ocupação por espaço útil.....	39
Tabela 11 - Requisitos de renovação de ar e especificação da ventilação.....	39
Tabela 12 - Caudal de ar novo requerido da solução.....	40
Tabela 13 - Caudal de ar novo dos balneários.....	40
Tabela 14 - Densidade da potência dissipada pela iluminação.....	42
Tabela 15 - Densidade da carga dissipada pelos equipamentos.....	44
Tabela 16 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [W].....	55
Tabela 17 - Temperatura média anual segundo dados do INETI (Vila Nova de Gaia), [°C].....	56
Tabela 18 – Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E5, [W].....	57
Tabela 19 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Masculino, [W].....	58
Tabela 20 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW].....	59
Tabela 21 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E5, [kW].....	60
Tabela 22 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Masculino, [kW].....	61
Tabela 23 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW].....	66
Tabela 24 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E5, [kW].....	68
Tabela 25 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Masculino, [kW].....	71
Tabela 26 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW].....	73
Tabela 27 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW].....	75
Tabela 28 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW].....	77
Tabela 29 - Ganhos de Calor - Sala E1.....	79

Nomenclatura

Abreviaturas

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

INETI – *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*

ISQ – *Instituto de Soldadura e Qualidade*

LNEC – *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

Rph – *Renovações por hora*

RCCTE – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*

RSECE – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*

SCE – *Sistema de Certificação de Energética e Qualidade do Ar interior de Edifícios*

1 Introdução

1.1 Arrefecimento em regime de “Free-Cooling”

O “Free-Cooling” ou arrefecimento natural consiste no arrefecimento de um edifício por meio de ventilação pela introdução de ar exterior, utilizando a energia livre desse ar, desde que este apresenta uma temperatura inferior à do ar interior, ou seja, ocorre quando as condições do ar exterior apresentam valores de humidade e temperatura inferiores às do ar interior, o que de uma forma vantajosa, permite uma capacidade de arrefecimento natural e sem custo energético, a não ser o de transporte do ar.

No inverno, o ar novo exterior pode contribuir para o arrefecimento diurno dos edifícios sem a necessidade de apoio de qualquer outro sistema de arrefecimento, ao passo que no verão e durante o horário nocturno, o ar novo exterior permite dissipar as cargas acumuladas durante o dia e até mesmo climatizar os espaços de forma a manter a temperatura interior dentro do intervalo de conforto. [1]

Pode-se distinguir dois tipos de “Free-Cooling”, o diurno e o nocturno.

- “Free-Cooling” diurno – consiste em ventilar os espaços com ar exterior a temperatura mais baixa que o ar interior. Em média a temperatura exterior no concelho de Vila Nova de Gaia é 96% do tempo inferior a 24°C e ultrapassa os 25°C cerca de 236 horas por ano, segundo dados do INETI, o que potencia uma margem bastante significativa da capacidade de arrefecimento natural do ar exterior.

Mas é de referir que a capacidade de arrefecimento em meia-estação e no verão é fraca, considerando uma temperatura média de 20°C no exterior e uma temperatura interior superior a 25°C. Tal obriga à uma taxa de renovação do ar interior bastante elevada para a remoção da carga, o que se traduz num clima interior pouco confortável. Sem esquecer ainda das restantes 236 horas em que a temperatura exterior é superior a 25°C, o que impossibilita de todo o regime de “Free-Cooling”.

- “Free-Cooling” nocturno – consiste em arrefecer os espaços de um edifício durante o horário nocturno com o ar exterior. Tal permite a remoção das cargas acumuladas durante o dia.

Neste caso, a capacidade de arrefecimento é bem mais eficiente do que de dia devido ao diferencial de temperatura do ar exterior e interior ser maior. Em Vila Nova de Gaia, a temperatura média nocturna durante o verão ronda os 10°C, o que permite uma remoção das cargas com taxas de renovação bem mais baixas em comparação com as de dia.

1.2 Regulamentação em vigor

1.2.1 SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

Porque a legislação nacional o obriga, foi desenvolvido um sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios (SCE) relativa ao desempenho energético dos edifícios.

O SCE é um dos pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e que pretende vir a proporcionar economias significativas de energia para o país em geral e para os utilizadores dos edifícios, em particular. Em conjunto com os regulamentos técnicos aplicáveis aos edifícios de habitação (RCCTE, DL 80/2006) e aos edifícios de serviços (RSECE, DL 79/2006), o SCE define regras e métodos para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior aos imóveis já construídos. [2]

1.2.2 RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

O Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor

impacto em termos de energia primária. Esta legislação impõe a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável.

1.2.3 RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade interior surge também com requisitos relativamente aos caudais mínimos do ar interior por tipo de actividade e a concentrações máximas dos principais poluentes (edifícios existentes).

De forma simplificada apresentam-se nas tabelas seguintes, a síntese dos requisitos que determinam a aplicação dos regulamentos térmicos em edifícios.

Tabela 1 - Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios de Habitação

Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios		
Habitação	Sujeitos a Licenciamento municipal e a processo de Certificação Energética	
Novos Edifícios	Regulamentos aplicáveis	Requisitos
Sem sistema de climatização ou $Pr \leq 25kW$ – Potência nominal de arrefecimento ou aquecimento	RCCTE	Energéticos
Com sistemas de climatização $Pr > 25kW$ – Potência nominal de arrefecimento ou aquecimento	RCCTE + RSECE	Energéticos e Qualidade do Ar

Tabela 2 - Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios de Serviços

Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios		
Serviços	Sujeitos a Licenciamento municipal e a processo de Certificação Energética	
Novos Edifícios	Regulamentos aplicáveis	Requisitos
Todos os pequenos edifícios sem sistemas de climatização ou $P \leq 25\text{kW}$	RCCTE	Energéticos
Pequenas áreas $> 1000/500 \text{ m}^2$ todos os edifícios com $P > 25\text{kW}$	RSECE	Energéticos e Qualidade do Ar
Grandes áreas $> 1000/500 \text{ m}^2$ todos os edifícios	RSECE	Energéticos e Qualidade do Ar

Tabela 3 - Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios Existentes

Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios		
Edifícios Serviços Existente	Procedimentos	Requisitos
Grandes áreas $> 1000/500 \text{ m}^2$	Auditoria Energética e QAI	Energéticos e Qualidade do Ar

Assim, a certificação energética tem como principais objectivos definir os requisitos de conforto higiénico e térmico das zonas interiores em função do tipo de utilização, de modo a garantir uma qualidade do ar interior favorável aos ocupantes e ainda melhorar a eficiência dos consumos energéticos dos edifícios.

1.3 Conforto térmico

A temperatura interior de um espaço tem uma importância fulcral no consumo energético dos sistemas de climatização. Mas é certo que a temperatura de conforto de cada ocupante varia consoante o próprio metabolismo, vestuário e variáveis térmicas externas.

A norma ISO¹ 7730 – “*Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*”, contempla as condições ótimas de conforto térmico. A norma determina que um espaço apresenta condições de conforto térmico desde que a percentagem de insatisfeitos não passe dos 10%, ou seja, a condição que promove a neutralidade térmica ao maior número de ocupantes para um determinado tipo de actividade. [3]

A norma impõe que a velocidade do ar no verão não deve exceder os 0,25 m/s, com temperaturas compreendidas entre 23°C e 26°C, e no inverno velocidades inferiores a 0,15 m/s com temperaturas compreendidas entre os 19°C e 24°C.

Na determinação do conforto térmico, a norma apoia-se nos seguintes parâmetros de maior relevo:

- Parâmetros ambientais:
 - Temperatura média radiante;
 - Humidade do ar;
 - Velocidade do ar;
 - Temperatura do ar;
- Parâmetros individuais:
 - Vestuário;
 - Actividade

O RCCTE prevê ainda as condições de conforto de referência, em cerca de 20°C de temperatura interior durante a estação de aquecimento e de 25°C durante a estação de arrefecimento com uma humidade relativa de 50%.

1.4 Programa informático de simulação

E porque o RSECE veio tornar obrigatória a simulação dinâmica detalhada para edifícios de serviço, devendo ser utilizado um dos programas acreditados pela norma

¹ ISO – International Organization for Standardization.

de transferência de calor, com a introdução prévia de dados reais e característicos do edifício em estudo, tais como localização e orientação geográfica, envolventes, materiais construtivos, arquitectura, e ainda dados referentes aos parâmetros internos como iluminação, ocupação e equipamentos.

Assim sendo, é previamente criado na plataforma de modelação de edifícios em 3D, *DesignBuilder*, um modelo tridimensional do caso em estudo – Edifício Ecotermolab do Instituto de Soldadura e Qualidade. Para posteriormente ser processado no programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*.

Os dados de entrada para simulação são inseridos através de ficheiros laborados pelo utilizador na interface do *DesignBuilder*, com as seguintes extensões, “.idf” (Input Data File) e “.epw” (Energy Plus Weather file). O ficheiro de dados de entrada “.idf” contabiliza todos os parâmetros imprescindíveis à simulação, ao passo que o ficheiro com a extensão “.epw” fornece os dados climáticos da localização geográfica onde o edifício em estudo se localiza. Os ficheiros de dados climáticos podem ser obtidos através do próprio *site* do *EnergyPlus*. No caso de Portugal a base de dados do *EnergyPlus* limita-se às cidades de Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal/Madeira, Lages, Lisboa e Porto. E por isso o *DesignBuilder* inclui um conversor de ficheiros climáticos, que converte os ficheiro da base de dados do programa Solterm 5 para o formato utilizado na simulação dinâmica detalhada do *EnergyPlus* (.epw), o que possibilita o acesso aos ficheiro climáticos dos restantes concelho de Portugal para efeitos de simulação. De referir que a base de dados de ficheiros climáticos do programa Solterm 5 é proveniente e elaborada pelo INETI. [4]

1.5 Descrição do caso de estudo

Este é um edifício de serviço destinado à formação, localizado na Feiteira Rua A, Lote CR8 na Zona Industrial de Grijó na periferia de uma zona urbana. Nas ilustrações seguintes, com recurso ao programa *Google Earth*, apresentam-se a localização geográfica do edifício, bem como o perfil do terreno até ao mar.

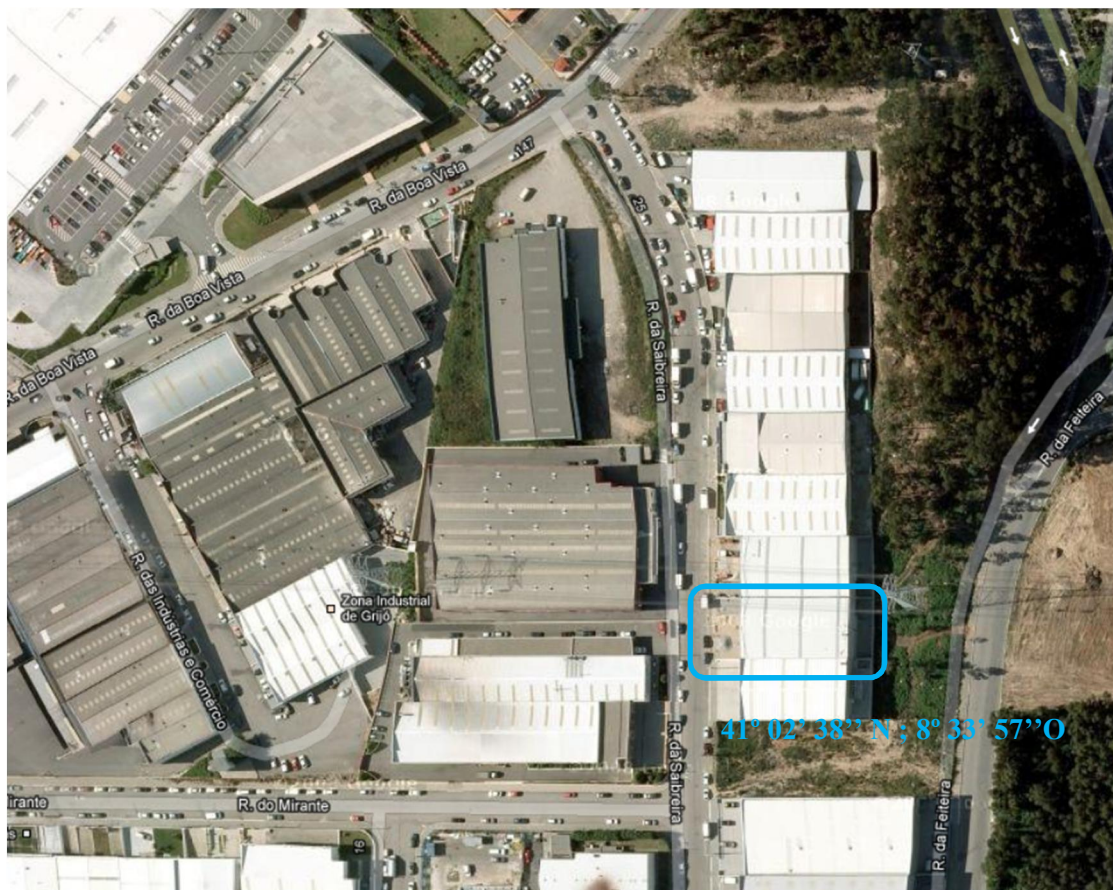


Ilustração 1 - Localização geográfica do edifício Ecotermolab

Como se pode verificar na Ilustração 1, o edifício em estudo encontra-se inserido ou adjacente a outros dois edifícios.

Pela Ilustração 2, verifica-se que o edifício Ecotermolab se situa localizado a uma distância de 7,4 km do mar e a uma altitude de 175 m acima do nível médio do mar.

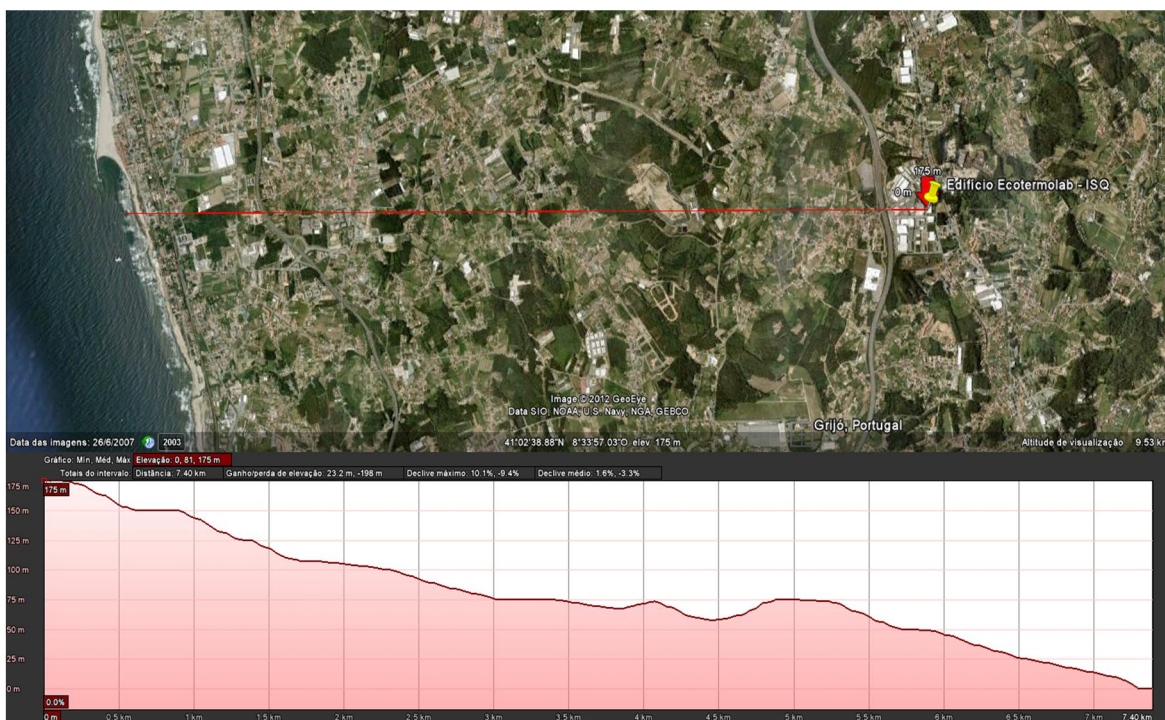


Ilustração 2 - Perfil do terreno até ao mar

É apresentado na Tabela 4 os dados climáticos de referência, imposto pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE (Decreto-Lei 80/2006):

Tabela 4 – Dados climáticos de referência.

Concelho	Vila Nova de Gaia
Zona Climática de Inverno	I2
Nº Graus-Dia (°C. Dia)	1640
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	6,7
Zona Climática de Verão	V1
Temperatura Externa de Projecto (°C)	29,9
Amplitude Térmica (°C)	10
Distância à costa (km)	7,4
Altitude (m)	175

Sendo que para efeitos de cálculo de projecto e de simulação dinâmica do edifício, são considerados os seguintes pressupostos:

- Condições de inverno:
 - Temperatura exterior: 1,9 °C;
 - Temperatura interior: 20 °C;
- Condições de verão:
 - Temperatura exterior: 29,9 °C;
 - Temperatura interior: 25 °C;
- O ficheiro com os dados climáticos do Solterm, referente ao concelho de Vila Nova de Gaia, para efeitos de simulação dinâmica;

O EnergyPlus permite, após conversão para um formato de extensão EPW, a utilização directa dos dados climáticos obtidos através do ficheiro climático do Solterm para o concelho em que o edifício se insere. Esta conversão é feita através do programa auxiliar Weather Converter. Estes dados incluem entre outros, a temperatura de bolbo seco e húmido, humidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do vento, para todas as horas do ano de referência (2002).

O Ecotermolab é à luz do regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – RSECE (Decreto-Lei 79/2006), considerado como um Grande Edifício de Serviço com Climatização, uma vez que a área útil é superior à 1000 m² e a potência instalada nos sistemas de climatização superior a 25 kW.

Este edifício está dividido em três pisos (Piso -1, Piso 0 e Piso 1). Os diferentes pisos caracterizam-se em seguida de acordo com as definições presentes no RSECE.

Os espaços existentes neste edifício são variados e distintos entre si. No Piso -1, existem espaços destinados a armazéns e balneários para os formandos presentes no edifício, e ainda uma zona destinada ao tratamento do ar. No Piso 0, existem uma recepção, uma sala de estar/convívio, um gabinete técnico, salas de formação e ainda uma zona técnica destinada ao acondicionamento de produção/distribuição térmica. O Piso 1 é semelhante ao Piso 0, com as salas de formação, mas ainda possui duas zonas relacionadas com o tratamento do ar. Existe ainda na cobertura uma área destinada aos colectores

solares. A tipologia deste edifício relaciona-se com “Estabelecimento de Ensino”, que como se percebe se adequa ao caso em estudo. Na Ilustração 3 estão representadas as fachadas exteriores do edifício.



Ilustração 3 - Fachadas do Ecotermolab

Planta do edifício de formação:

O edifício de formação Ecotermolab do ISQ é constituído pelas seguintes zonas úteis, exclusivamente consideradas como áreas climatizadas:

➤ Piso 1

- Sala E1 – 77,1 m²
 - Sala E2 – 66,4 m²
 - Sala E3 – 76,4 m²
 - Sala E4 – 80,4 m²
 - Sala E5 – 74,4 m²
 - Circulação – 115,3 m²
- Áreas úteis – Ar novo climatizado com Unidades de Tratamento de ar Novo
- As Zonas Técnica consideradas não úteis – Fortemente ventiladas.

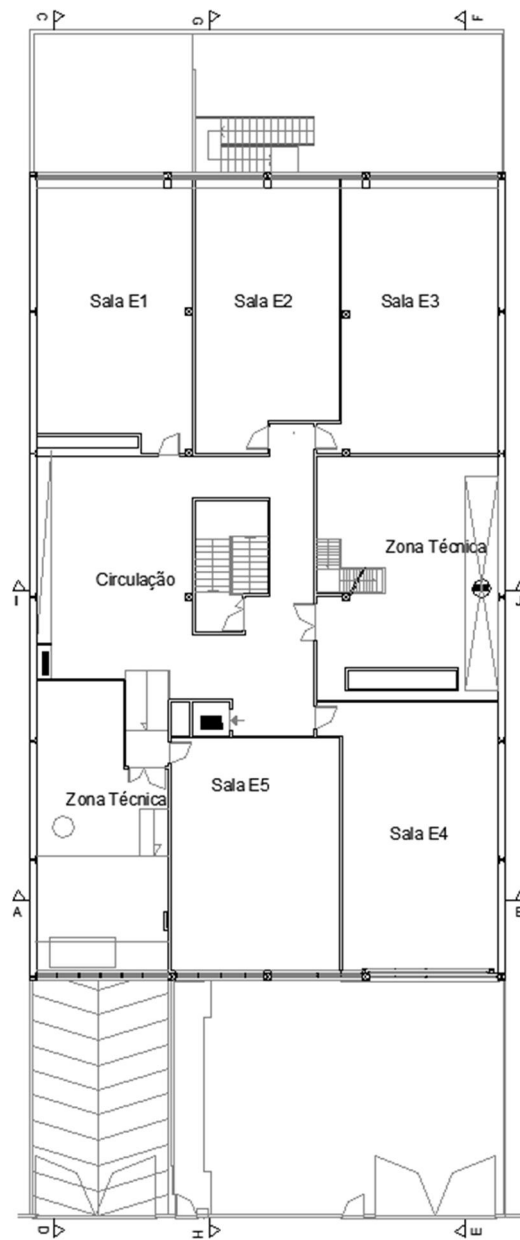


Ilustração 4 - Planta do Piso 1

➤ Piso 0

- Laboratório 1 – 82,6 m²
- Laboratório 2 – 115,7 m²
- Laboratório 3 – 91,8 m²
- Central Térmica – 82,5 m²
- Gabinete – 50,9 m²
- Recepção – 31,9 m²
- Estar/Convívio – 86,8 m²

Áreas úteis – Ar novo climatizado com Unidades de Tratamento de Ar Novo

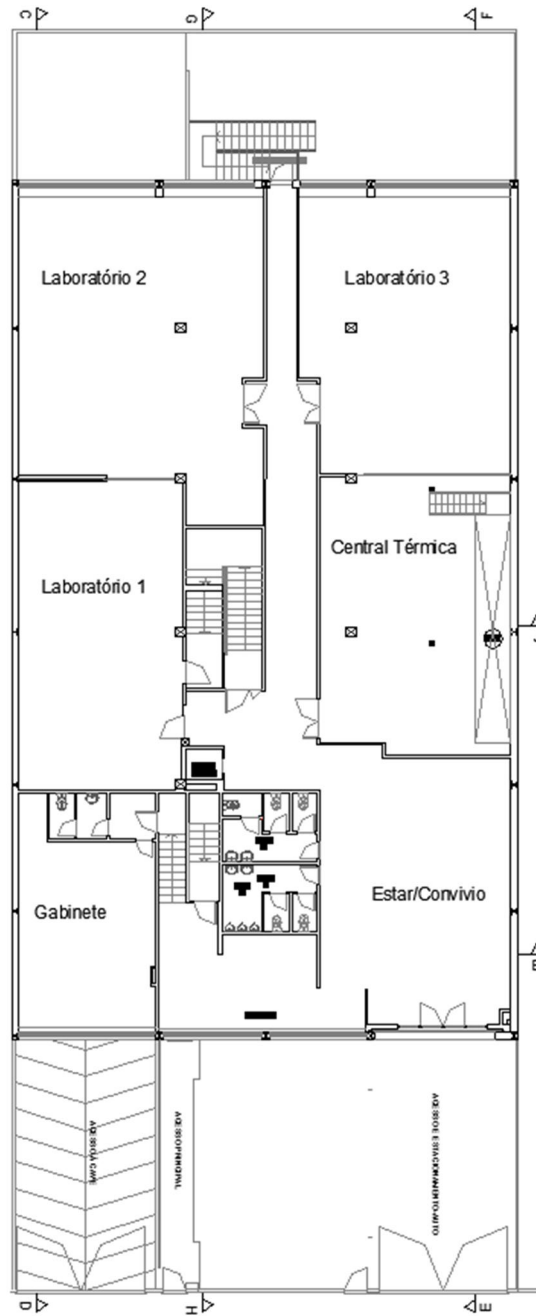


Ilustração 5 - Planta do Piso 0

➤ Piso -1

- Balneários Masc. – 31,17 m²
 - Balneários Fem. – 25,63 m²
 - Zonas de espaço oficial e armazém considerados não úteis – Fortemente ventiladas.
- Áreas úteis – Ar novo climatizado com Unidades de Tratamento de ar Novo

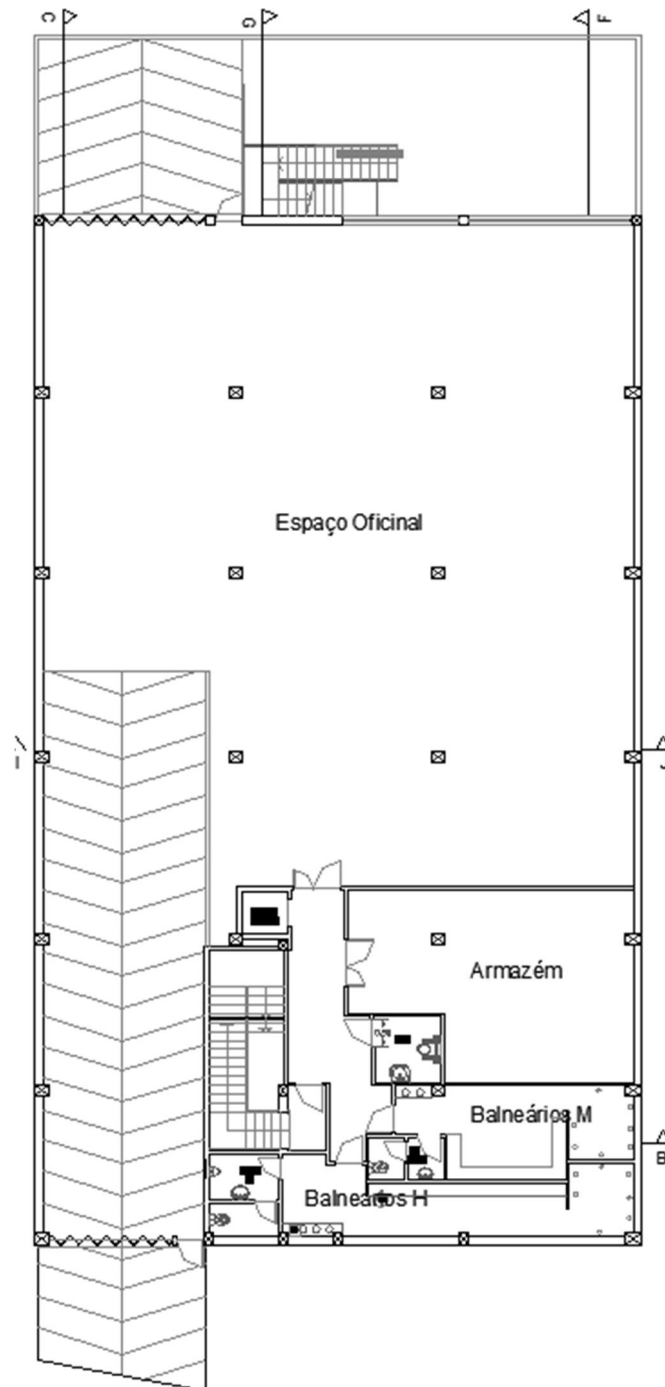


Ilustração 6 - Planta do Piso -1

1.6 Solução Construtiva

Os coeficientes de transmissão térmica das envolventes do edifício, dados esses fornecidos pela entidade ISQ, foram calculados com base nos materiais construtivos que os constituem e nos respectivos valores de condutibilidade térmica, tendo sido considerados os valores estabelecidos na publicação do LNEC: Coeficientes de transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. É de salientar que o RCCTE [5], em função da zona climática impõe valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica dos elementos opacos, e da inércia térmica, valores máximos para o factor solar dos vãos envidraçados.

Os coeficientes de transmissão térmica dos elementos das envolventes e factores solares do edifício usados na simulação estão apresentados abaixo e devidamente verificados segundo os requisitos mínimos impostos pelo RCCTE.

Tabela 5 - Verificação Regulamentar - Envolvente opaca

Envolvente	Coeficiente de transmissão Térmica [W/m ² .°C]	Máximo Regulamentar – RCCTE [W/m ² .°C]
Parede em contacto com exterior - Este	0,40	1,6
Parede em contacto com exterior - Oeste	0,38	1,6
Ponte térmica plana na parede exterior – Este e Oeste	0,43	0,8
Ponte térmica plana na parede interior – Norte e Sul	0,41	2,0
Parede de compartimentação interior	0,51	2,0
Parede interior em contacto com fracção autónoma de edifício adjacente	1,67	2,0
Laje de cobertura	0,29	1,0
Pavimento interior	0,36	1,0

Analogamente aos vãos envidraçados, verifica-se que cumprem com o factor solar máximo admissível, segundo o Anexo IX do RCCTE, tendo em conta a inércia média do edifício.

Tabela 6 - Verificação Regulamentar - Vãos envidraçados

Tipo	g Vidro	g 100%	Factor solar admissível máximo	Verificação Regulamentar - RCCTE
VE1	0,77	0,41	0,56	Cumpre
VE2	0,77	0,41	0,56	Cumpre
VE3	0,72	0,41	0,56	Cumpre
P. Env.	0,75	0,47	0,56	Cumpre

1.7 Sistema de climatização

Tratando-se de um caso já existente, eis uma descrição do sistema de climatização existente no edifício.

Este é climatizado através de um sistema a 4 tubos (Água Fria/Água Quente), sendo a produção de água quente efectuada através de uma caldeira de condensação com potência de 75 kW e o arrefecimento efectuado à partir de um chiller água/água de potência 60,1 kW, sendo a condensação efectuada com recurso a um Dry-Cooler (Torre de arrefecimento).

A distribuição da água quente e fria é direccionada para as UTAN's (Unidade de tratamento de ar novo) e ventilo convectores existentes nos diversos espaços.

A renovação do ar novo nos vários espaços do edifício é garantida por duas unidades de tratamento de ar novo com três secções de filtragem (G4+F5 na admissão e F9), com recuperadores de energia pela transferência com o ar de extracção na roda entálpica na UTAN 1 (com eficiência de recuperação de 78%) e por fluxos cruzados na UTAN2 (com eficiência de recuperação de 61%). Estando a UTAN 1 localizada na zona técnica do piso 1 e afecta a climatização do respectivo piso e a UTAN 2 localizada no piso -1 na área de armazém e afecta a climatização do piso 0 e piso -1.

Os espaços climatizados estão submetidos em sob pressão de modo a que as infiltrações provocadas pela ventilação natural sejam desprezáveis.

É utilizado na difusão do ar nos espaços apenas difusores lineares e grelhas de indução (Displacement) de forma a reduzir as velocidades, de modo a não exceder os 0,2 m/s nas zonas de influência de pessoas. Sendo que todos os difusores e grelhas estão dotados de registos de regulação de caudal de ar.

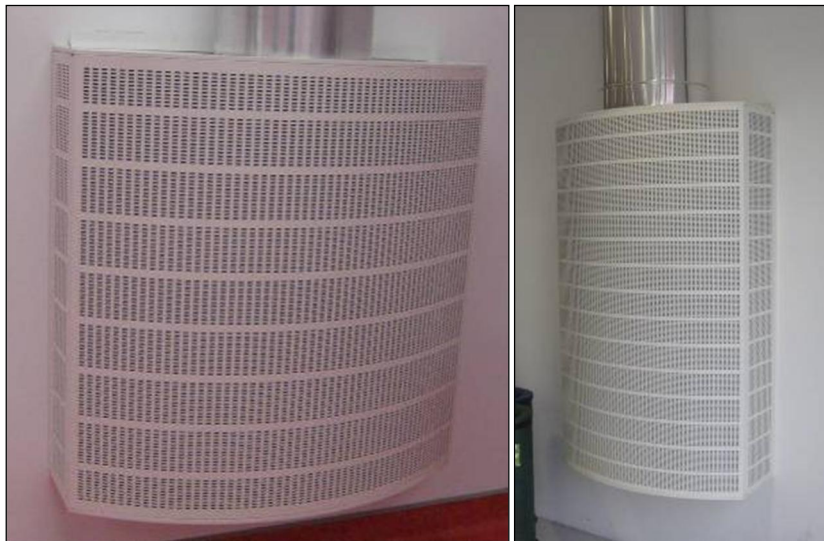


Ilustração 7 - Difusores Displacement

Os sistemas de difusão do ar existente em todo o edifício, assentam num princípio de substituição do ar do espaço sem mistura, ou seja, o ar insuflado “empurra” o ar existente substituindo-o, permitindo desta forma uma ventilação e renovação do ar mais eficiente.

O sistema de climatização do edifício Ecotermolab é ainda monitorizado por um sistema de gestão técnica centralizada (SGTC), onde estão incluídos todos os controladores e interligações aos equipamentos. Este permite a otimização centralizada da parametrização da instalação de climatização e tem por função facilitar a condução, manutenção preventiva e gestão de energia das diversas instalações do edifício, e as auditorias energéticas.

Estão representadas nas ilustrações seguintes, a título de exemplo, a representação das UTAN's no sistema de gestão técnica centralizada.

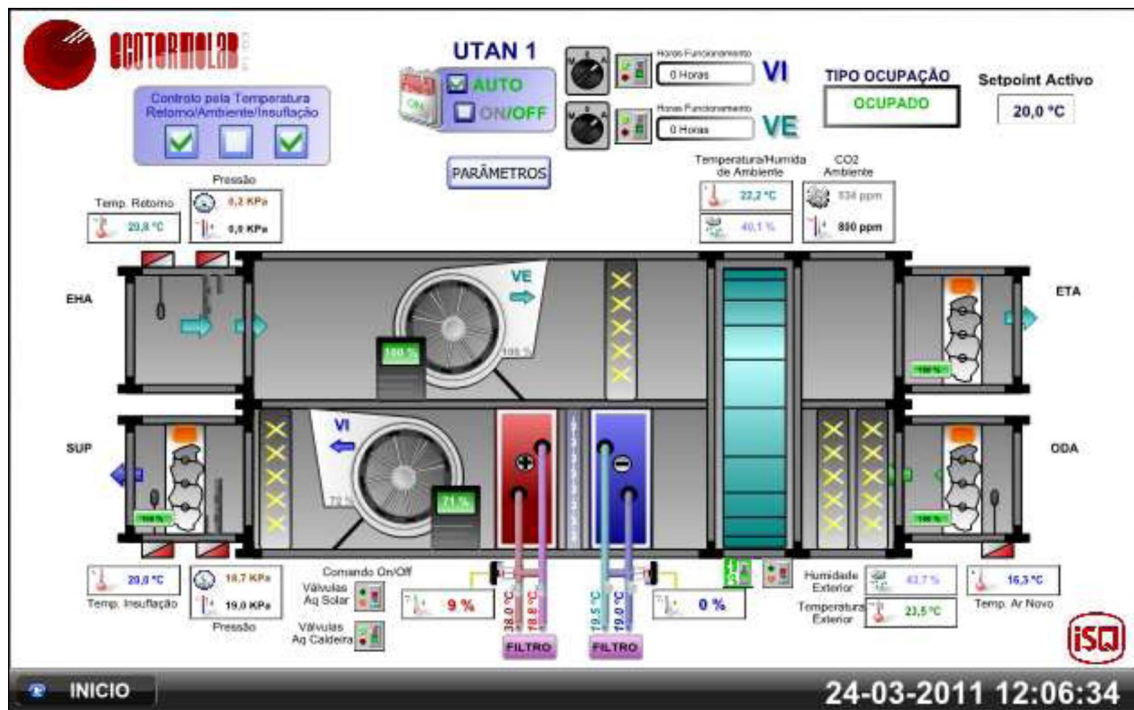


Ilustração 8 - Representação da UTAN 1 na SGTC (ISQ)

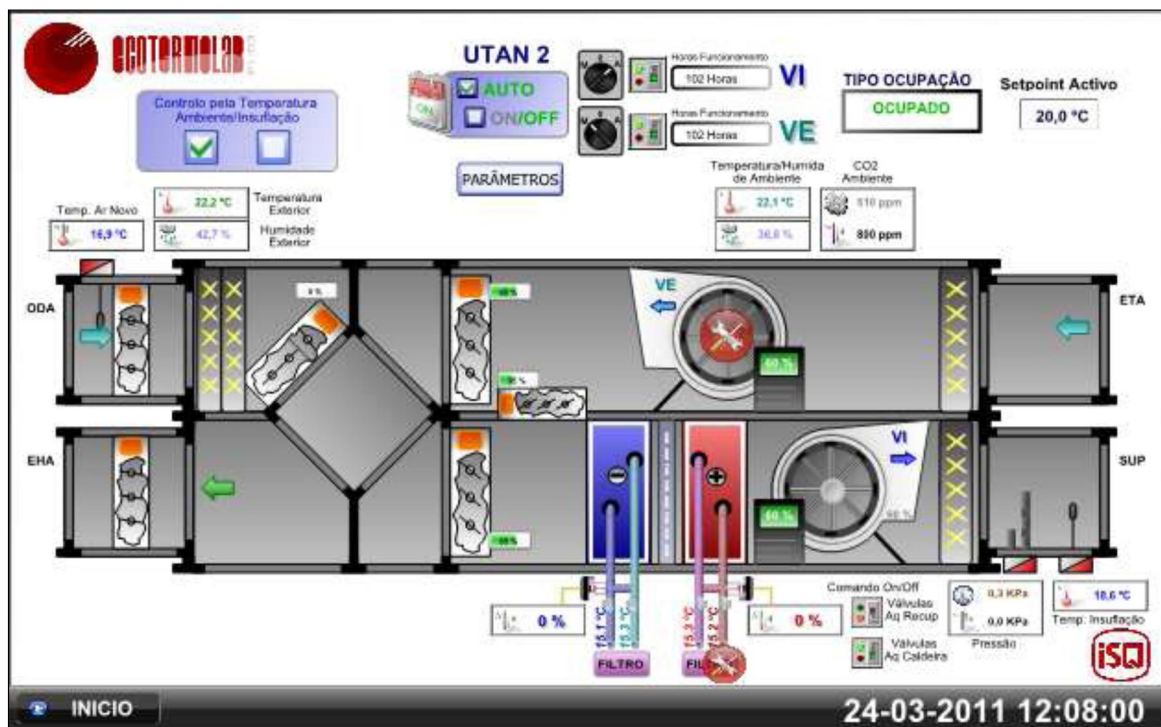


Ilustração 9 - Representação da UTAN 2 na SGTC (ISQ)

1.8 Levantamento das condições de utilização do edifício

O correcto funcionamento do edifício acarreta um conjunto de equipamentos consumidores e libertadores de energia, estando os equipamentos condicionados pela utilização da ocupação humana distribuída pelo edifício e pelo horário de utilização.

Ocupação

Relativamente às salas de formação existe, em termos reais, uma ocupação máxima de 19 ocupantes por sala (1 formador + 18 formandos), sendo que esta varia consoante o número de formandos que se encontram no edifício, e que todo este processo é variável, na medida em que o número de cursos ou formações variam ao longo do tempo.

Iluminação

Existe neste edifício sistemas de iluminação interior e exterior, sendo a interior a mais relevante e única influente ao caso em estudo.

A potência instalada nos sistemas de iluminação é de cerca de 11,7 kW e a tecnologia predominante corresponde a luminárias fluorescentes tubulares, cerca de 80%.

Nas tabelas seguintes apresentam-se a distribuição e o tipo de tecnologia utilizada.

Tabela 7 - Potência instalada por tipo de tecnologia

Edifício	Tecnologia	Potência Instalada [W]	Taxa de Ocupação [%]
Edifício Ecotermolab	Fluorescente Tubular	9.340	80
	Fluorescente Compacta	1.974	17
	Lâmpadas LED	432	3
TOTAL		11.746	

Tabela 8 - Potência total instalada por piso

Edifício	Piso	Potência Instalada [W]	Taxa de Ocupação [%]
Edifício Ecotermolab	Piso -1	2.872	24,5
	Piso 0	4.462	38,0
	Piso 1	4.412	37,5
TOTAL		11.746	

É apresentado nas seguintes ilustrações a distribuição, por piso, dos vários tipos de iluminação presentes no edifício com as respectivas potências.

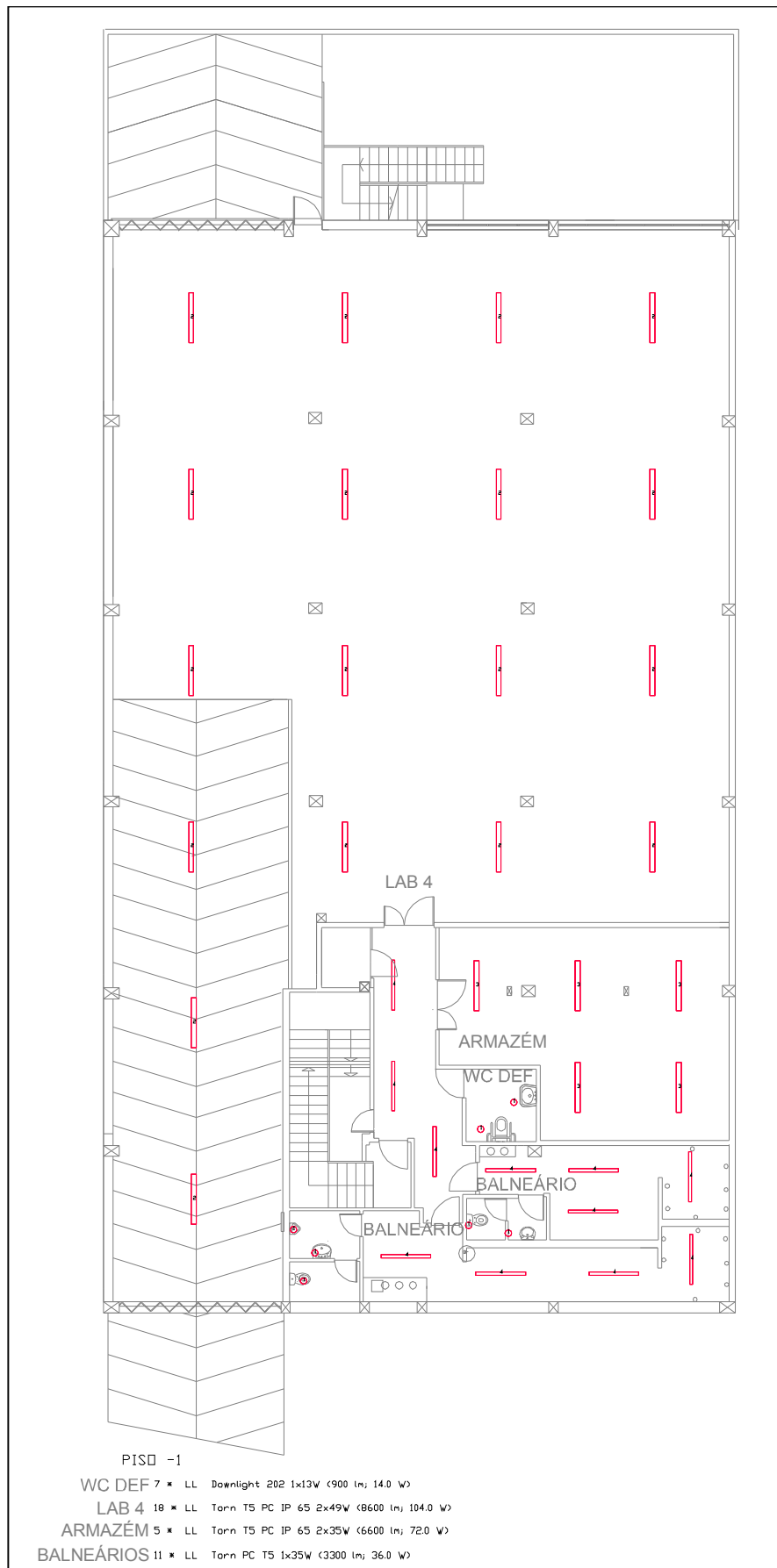


Ilustração 10 - Planta com distribuição das iluminarias do Piso -1

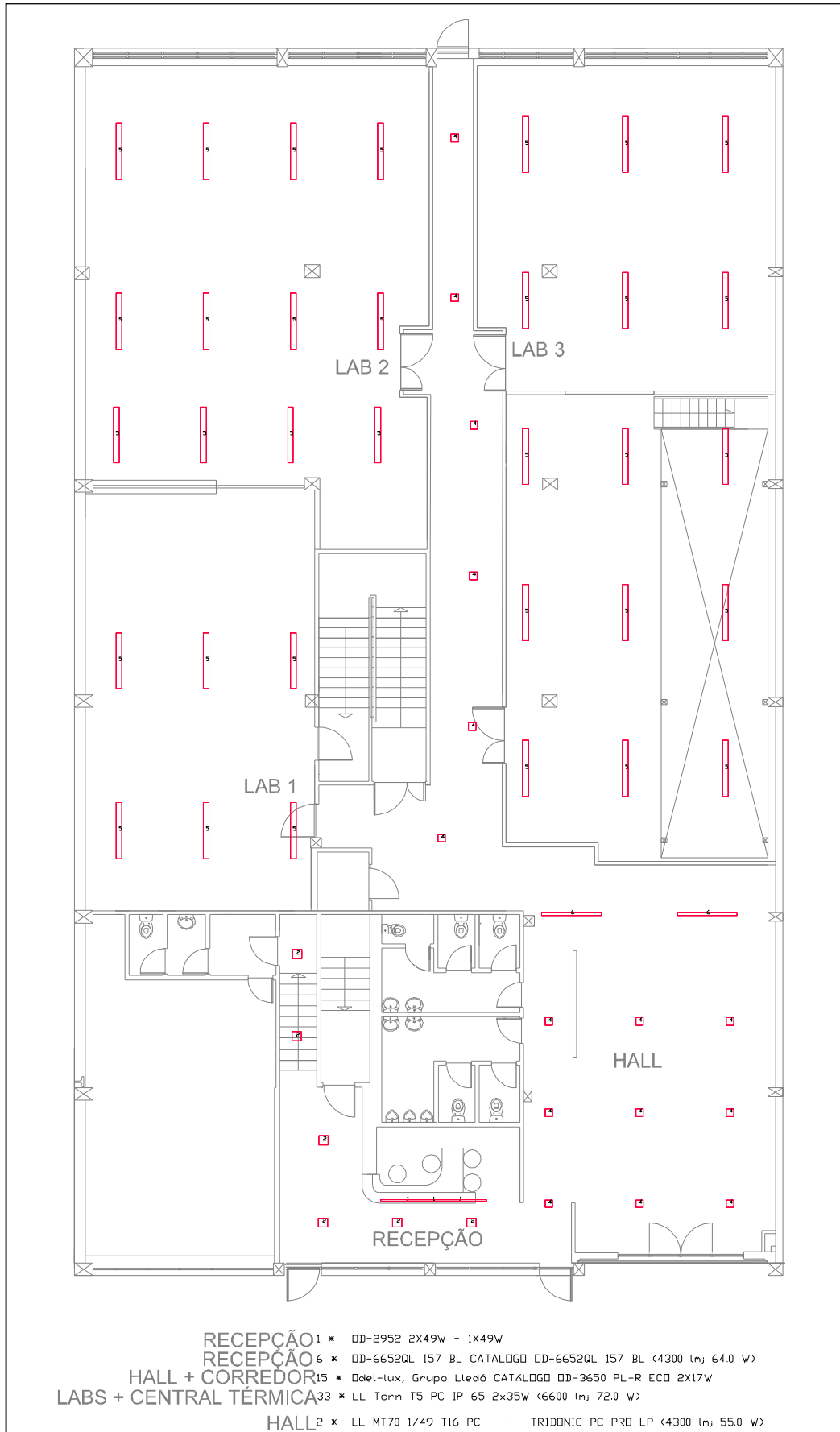


Ilustração 11 - Planta com distribuição de luminárias do Piso 0

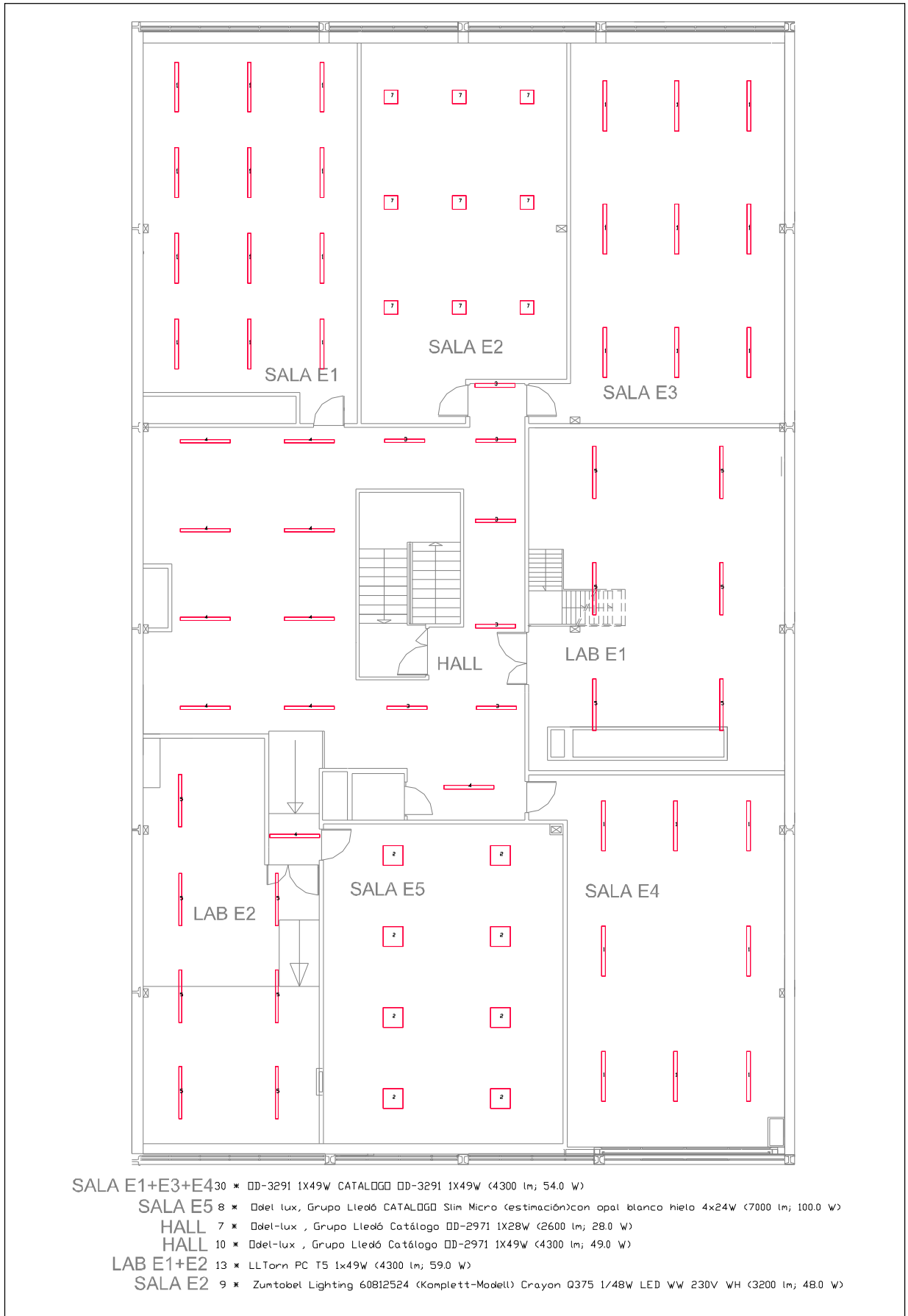


Ilustração 12 - Planta com distribuição das iluminarias do Piso 1

Equipamentos

Para um adequado funcionamento de todas as actividades inerentes ao Ecotermolab é imprescindível o uso de diversificados equipamentos, que na sua maioria são equipamentos de escritórios, tais que computadores, impressoras, fotocopiadoras, etc.

Neste caso mais concreto, a predominância é atribuída ao número de computadores por sala de formação, sendo este número variável de acordo com a ocupação, atendendo ao facto de se tratar de computadores portáteis atribuído a cada ocupante.

2 Desenvolvimento

2.1 Estudo das cargas térmicas

Uma correcta abordagem ao estudo passa primeiramente por uma análise exaustiva ao tipo de cargas térmicas existentes no edifício.

As condições de temperatura e humidades interiores inerentes ao edifício devem permanecer dentro de parâmetros adequados fixados ao longo do dia e do ano. Por outro lado as condições exteriores dependem único e exclusivamente do clima e não podem ser controladas. Sendo que a diferença entre a temperatura e humidade exterior com a interior e a radiação incidente irão resultar na geração de troca de fluxos de calor pelas envolventes do edifício. Estas trocas resultam em cargas térmicas sensível e latente. Por outro lado, a utilização do edifício, ao nível da ocupação, equipamentos e iluminação, leva ao ganho de calor e vapor de água que se traduzem em cargas térmicas internas.

Na actualidade a estimativa das cargas térmicas é na maioria das vezes determinada com o auxílio a programas informáticos, como será o caso. No entanto é de relevante importância compreender a metodologia envolvida nos cálculos das cargas térmicas.

O estudo das cargas térmicas pode ser dividido nos seguintes tipos, as cargas térmicas exteriores, as cargas térmicas internas e outras cargas, das quais se irá dar uma importante relevância de seguida. [6]

Cargas térmicas exteriores

Estas dependem exclusivamente das condições climatéricas. São cargas resultantes do fluxo de calor que se dão através das diversas envolventes exteriores do edifício e de infiltrações através de portas, janelas ou quaisquer outros orifícios nos elementos construtivos do edifício, como se pode verificar na ilustração seguinte.

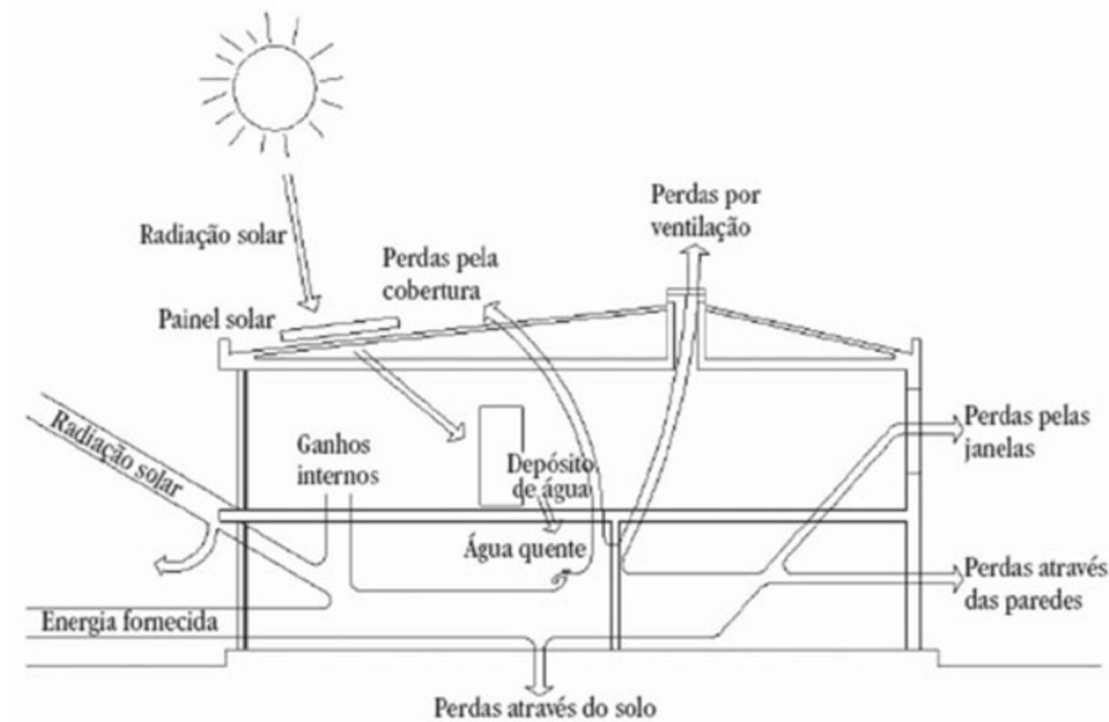


Ilustração 13 - Balanço térmico do edifício [7]

Os fluxos de calor gerados através das zonas correntes do edifício, quer por perdas ou ganhos, são consequentes das propriedades térmicas dos elementos construtivos do edifício. Assim estão definidos os seguintes parâmetros que caracterizam as propriedades dos elementos, sendo a *condução térmica* que caracteriza o fenómeno de condução no elemento, e o *coeficiente de transmissão térmica* que engloba não só o fenómeno de condução térmica como também os fenómenos de radiação e convecção a que estão sujeitos as faces dos elementos.

A Ilustração 14 simula a orientação solar prevista em *DesignBuilder*, demonstrando de forma elucidativa as várias orientações solares ao longo do ano, hora a hora, em relação ao edifício em estudo.

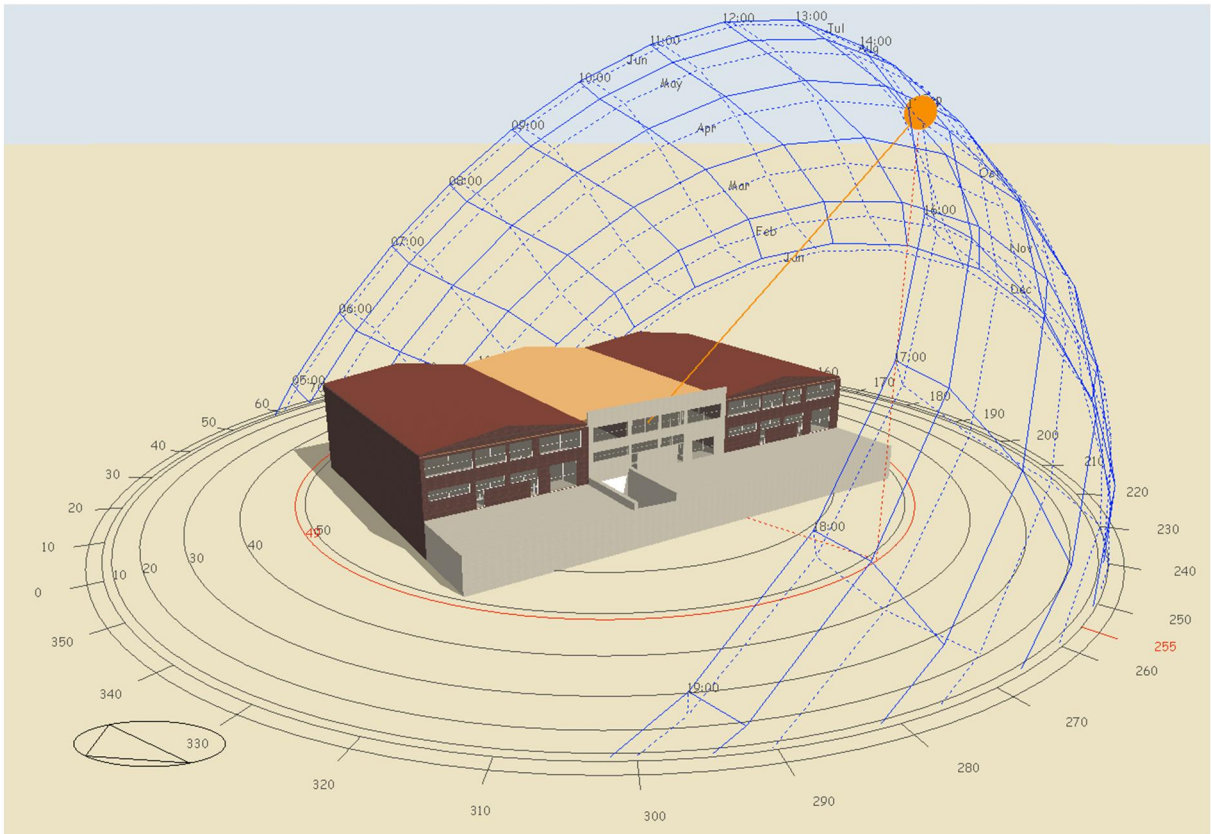


Ilustração 14 - Orientação solar do edifício

O fluxo de calor através de um elemento, é então caracterizado por:

$$Q = U.A.(\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

Sendo:

Q – Fluxo de calor permutado entre o interior e exterior [W];

U – Coeficiente de transmissão térmica médio do elemento construtivo [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A – Área do elemento da envolvente [m^2];

θ_i, θ_e – Temperatura interna e externa, respectivamente [$^\circ C$];

Cargas térmicas interiores

Como mencionado atrás, a utilização do edifício acarreta ganhos internos nos espaços a climatizar, resultantes dos seguintes factores:

- Ocupação – que liberta calor em resultado da actividade metabólica dos ocupantes, pois toda a energia devida ao metabolismo é considerada sob a forma de calor, sendo esta traduzida sob a forma de carga latente, carga sensível por convecção e carga sensível por radiação, dependente das condições interiores (temperatura de bolbo seco, humidade relativa, temperatura radiante do espaço e velocidade do ar);
- Equipamentos eléctricos – que dissipam calor em resultado da sua operação e modo de funcionamento;
- Iluminação eléctrica – que devido ao efeito de Joule, liberta calor resultante da transformação da energia eléctrica em luz visível. Esta é responsável por uma parte significativa da carga a remover;

Na estação de aquecimento, muitas vezes estes ganhos são desprezados no cálculo das necessidades de aquecimento, visto serem favoráveis do ponto de vista económico e energético. Ao contrário da estação de aquecimento, na estação de arrefecimento, estes ganhos são desfavoráveis e por isso tidos em conta no cálculo das necessidades de arrefecimento.

Relativamente à ocupação, esta irá representar uma parcela importante na análise dos ganhos internos. Para valores de metabolismo pode-se admitir os seguintes valores no quadro seguinte, segundo a norma ASHRAE.

Tabela 9 – Taxas de calor emitido por ocupante de acordo com o tipo de actividade

Table 6.3 Typical rates at which heat is given off by human beings in different states of activity.

Degree of activity	Typical building	Total rate of heat emission for adult male / W	Rate of heat emission for mixture of males and females / W			Percentage of sensible heat that is radiant heat for stated air movement / %	
			Total	Sensible	Latent	High	Low
Seated at theatre	Theatre, cinema (matinee)	115	95	65	30	—	—
Seated at theatre, night	Theatre, cinema (night)	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45	—	—
Moderate office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55	—	—
Standing, light work; walking	Department store, retail store	160	130	75	55	58	38
Walking; standing	Bank	160	145	75	70	—	—
Sedentary work	Restaurant	145	160	80	80	—	—
Light bench work	Factory	235	220	80	140	—	—
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking; light machine work	Factory	295	295	110	185	—	—
Bowling	Bowling alley	440	425	170	255	—	—
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285	—	—
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315	—	—

Source: ASHRAE Handbook: *Fundamentals* (2001)⁽⁶⁾

Outras cargas térmicas

Outras cargas de relevante importância, principalmente neste trabalho, são as cargas devidas à renovação do ar.

Pois sabendo o caudal de renovação de ar a introduzir no espaço a climatizar, para efeitos de necessidades de ventilação por exigências de qualidade do ar interior regulamentar e fixado de acordo com o volume habitável, o número de ocupação e o limite de contaminantes de ar interior e exterior, segundo o RSECE, o valor da carga térmica devido à renovação do ar é dado por:

$$Q_{ae} = \dot{V}_{ae} \cdot \rho \cdot (h_{ext} - h_{int}) \quad (2)$$

Em que:

Q_{ae} – Carga térmica devido ao ar novo [W];

\dot{V}_{ae} – Caudal de ar novo [m³/s];

ρ – Massa volúmica do ar [kg/m³];

h_{ext} e h_{int} – Entalpias do ar exterior e interior, respectivamente [kJ/kg ar seco];

No entanto deve se ter em atenção, e por razões de exigências de conforto higrotérmico, que tratando-se de uma instalação tudo-ar de Volume de Ar Variável onde é utilizado unidades de tratamento de ar novo, haverá necessidades adicionais de arrefecimento e de aquecimento de acordo com as necessidades requeridas no espaço. Sendo a temperatura do ar insuflado constante, mas o caudal de ar variável de maneira a poder garantir a remoção da carga térmica do espaço, não esquecendo que o ar é arrefecido previamente para além da temperatura de insuflação, para efeitos de desumidificação exigidos, e é novamente aquecido para a temperatura requerida.

2.2 Parametrização do caso de estudo

Numa primeira fase são determinados todos os dados relativos à determinação das cargas térmicas do edifício, tendo em conta todos os factores e contributos alusivos ao valor da carga térmica, tais como a transmissão de calor e seus constituintes, a iluminação, a ventilação, o uso de equipamentos e os níveis de ocupação, sendo o objectivo da segunda e mais importante fase a simulação.

2.2.1 Modelo tridimensional

Toda a informação processada posteriormente pelo *EnergyPlus*, para efeitos de simulação, é criada no *DesignBuilder*. O programa *DesignBuilder* permite a introdução das características reais do edifício, dos materiais empregues na sua construção, arquitectura, envolvente, orientação e localização geográfica, e ainda do ficheiro climático *Solterm* referente ao local geográfico para efeitos de simulação dinâmica, hora a hora ao longo do ano.

Sendo de destacar que o zonamento térmico interior, tem um aspecto determinante no rigor da modelação do edifício, devendo ser definido de acordo com os seguintes aspectos:

- Interacção entre a envolvente exterior e as zonas interiores;
- Caracterização construtivas dos elementos;
- Caracterização em função da utilização de cada espaço;
- Caracterização dos ganhos internos;
- Caracterização do sistema de climatização;

O edifício em estudo situa-se próximo de uma zona urbana no concelho de Vila Nova de Gaia, como já referenciado, numa região climática I2 – V1 norte e com uma inércia térmica média. Nas ilustrações seguintes apresenta-se o modelo tridimensional do edifício através do *DesignBuilder*.

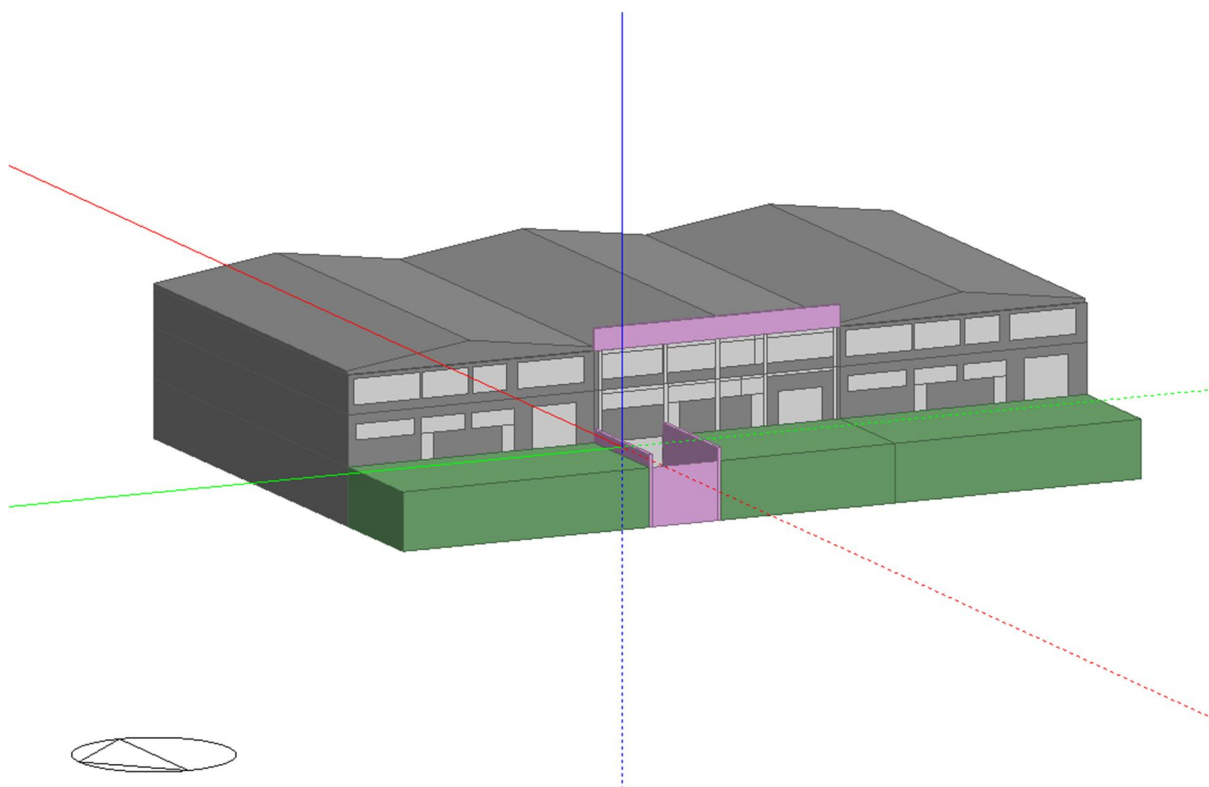


Ilustração 15 - Modelo tridimensional do edifício (Fachada Oeste)

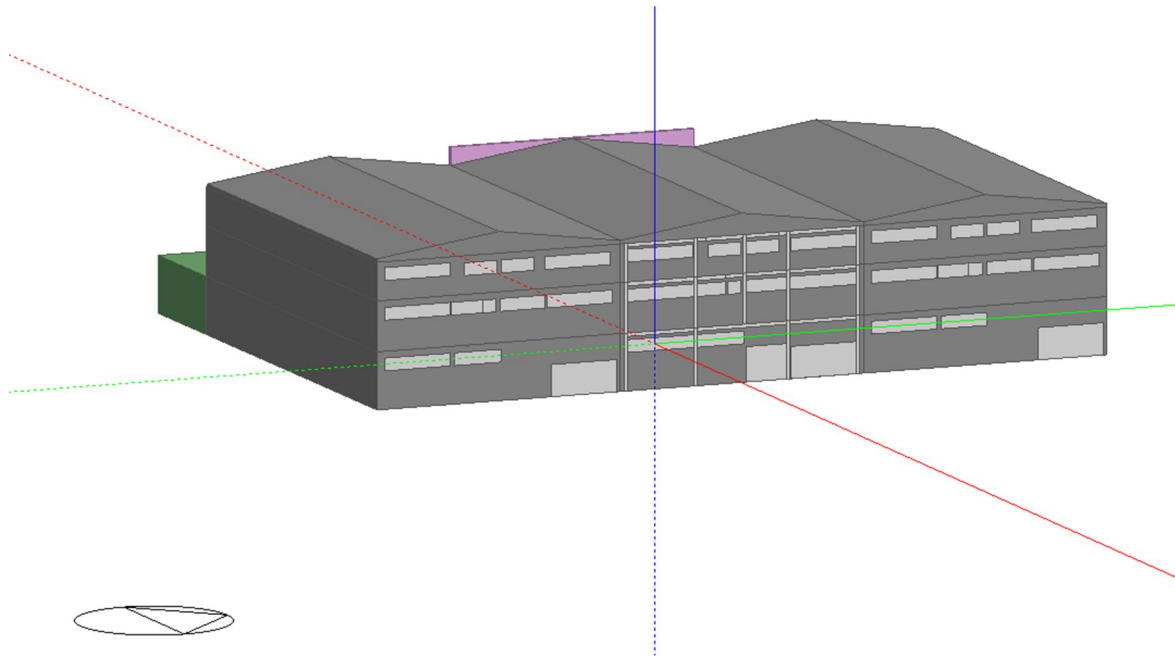


Ilustração 16 - Modelo tridimensional do edifício (Fachada este)

O edifício encontra-se inserido no meio de outros dois edifícios semelhantes adjacentes, e é composto por 3 pisos, estando um parcialmente subterrâneo a oeste. No piso -1, existem um espaço oficial, balneários e ainda uma zona de armazém como se constata na Ilustração 17.

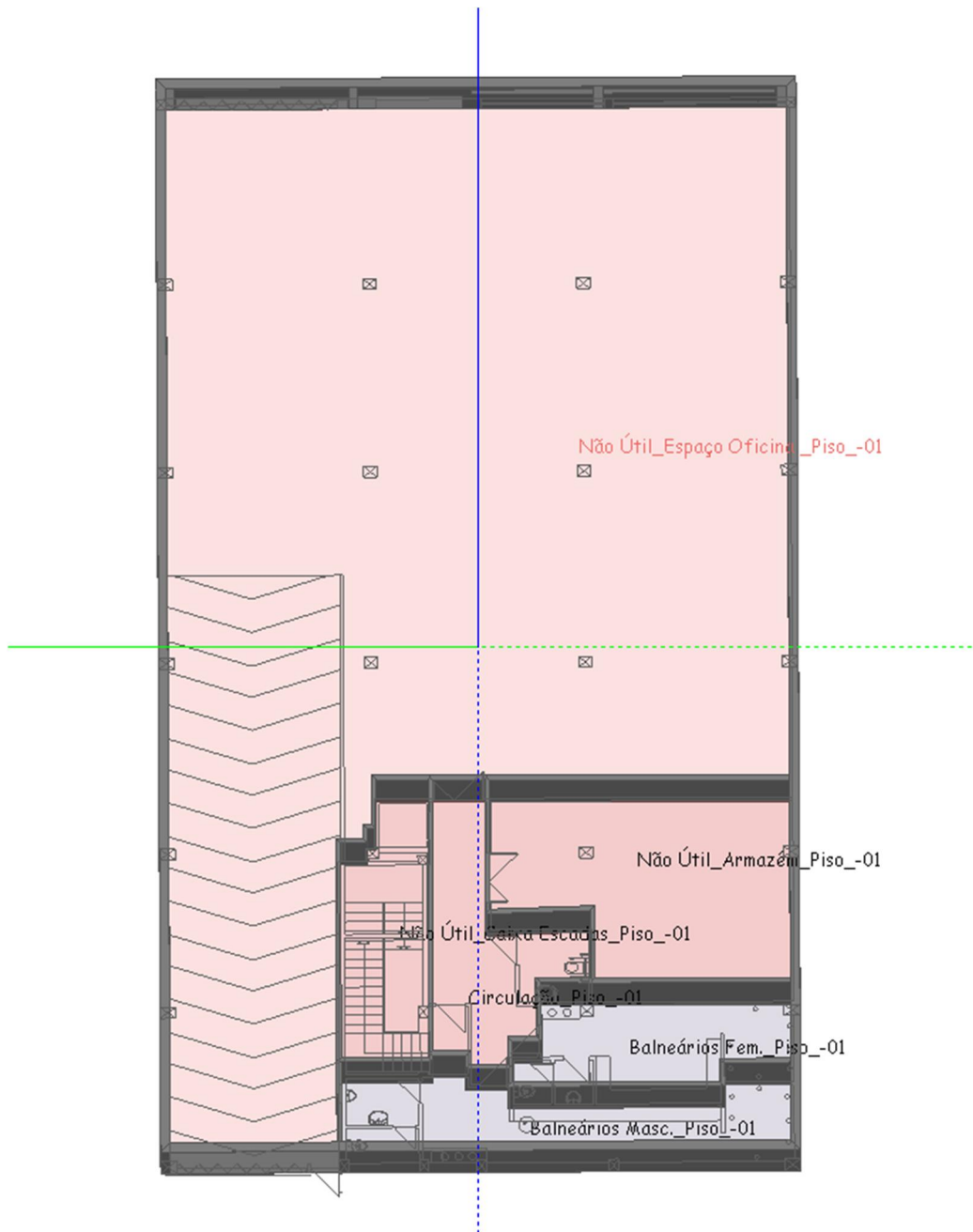


Ilustração 17 - Modelo tridimensional do Piso -1

Os espaços indicados a cor-de-rosa são considerados como espaços não úteis, sendo que o *DesignBuilder/EnergyPlus* permite definir de forma rigorosa as condições de contiguidade entre espaços climatizados de não climatizados. O que permite por outro lado simular a influência que os espaços não úteis têm sobre os espaços úteis. Estes espaços são simulados da mesma forma que os espaços úteis com a única diferença de não serem climatizados.

No Piso 0, encontra-se uma área de recepção, uma sala de estar/convívio, laboratórios de formação, um gabinete técnico e ainda uma zona técnica dedicada à produção/distribuição térmica de acordo com a apresentação seguinte.

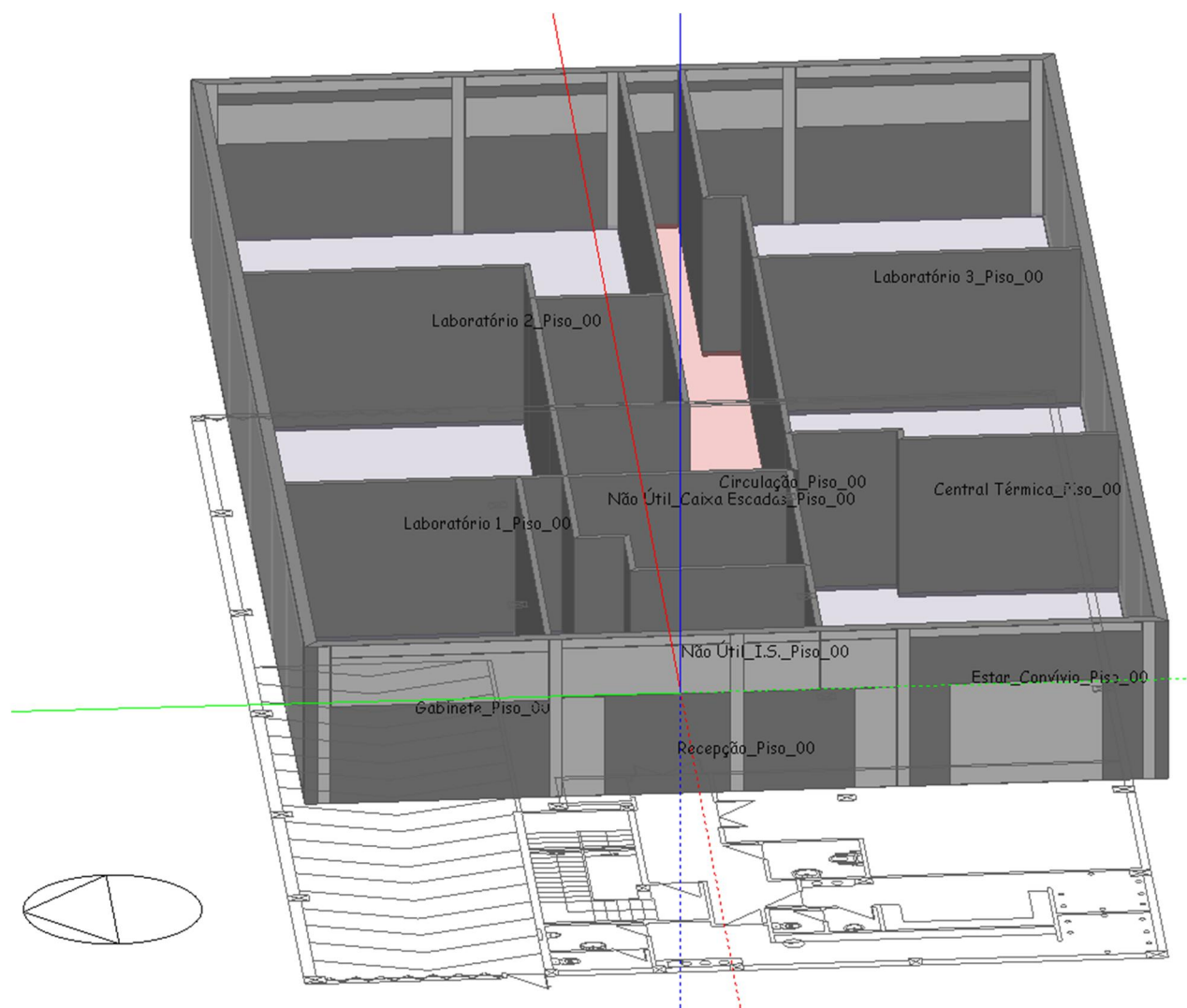


Ilustração 18 - Modelo tridimensional do Piso 0

O Piso 1, por sua vez, possui salas de formação e zonas técnicas dedicadas ao tratamento de ar novo. Somente as zonas técnicas são consideradas como espaços não úteis. Como se constata na Ilustração 19.

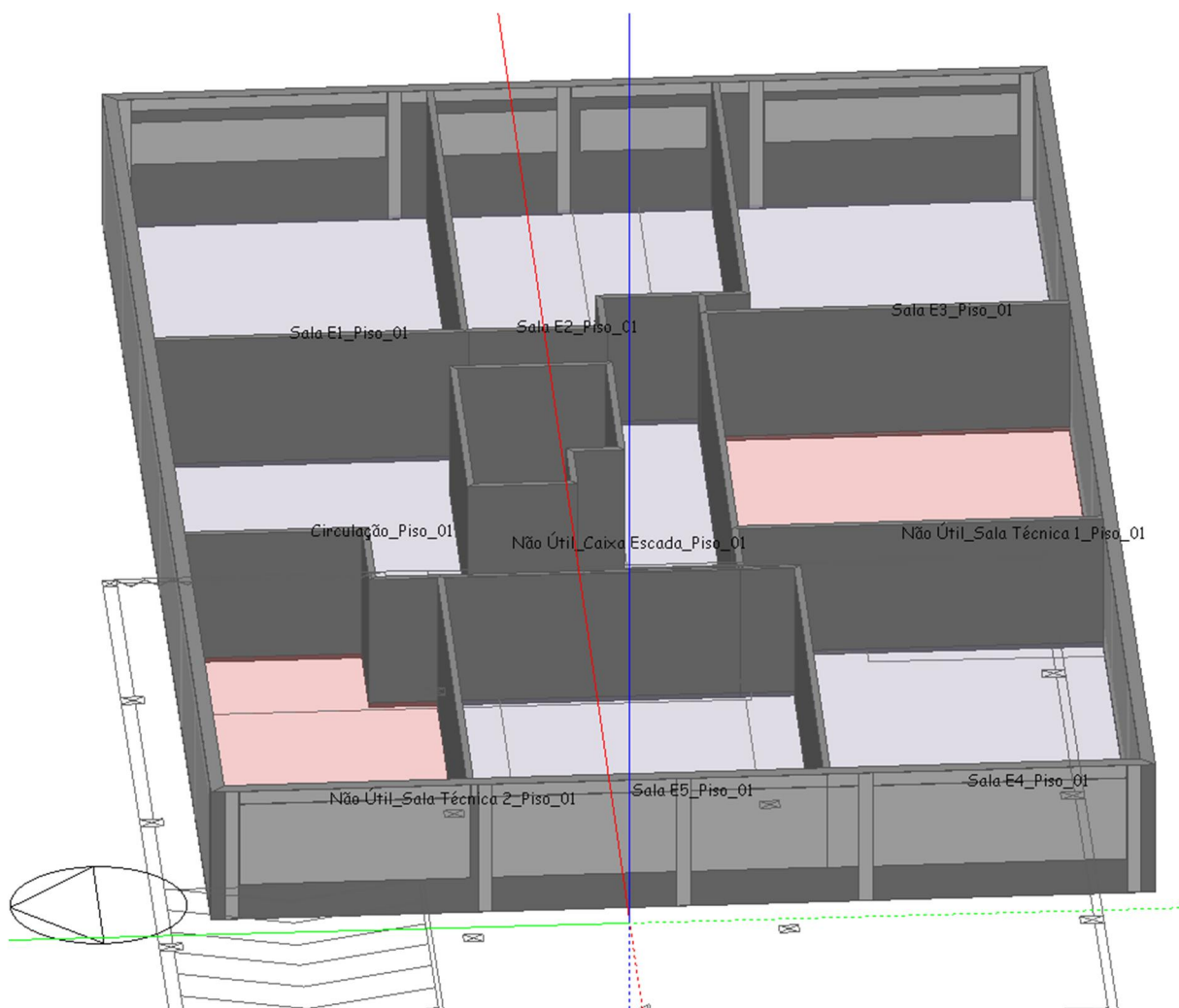


Ilustração 19 - Modelo tridimensional do Piso 1

2.2.2 Parametrização da envolvente

Ao nível da envolvente foram desenvolvidas *templates* referentes a construção que se adequam ao tipo de elementos existentes, tendo em consideração os coeficientes de transmissão térmica e os factores solares enunciados na Solução Construtiva, de modo a permitir uma caracterização física e térmica real dos elementos opacos (paredes, pavimentos e cobertura) e não opacos (envidraçados).

É apresentado, a título de exemplo, o *template* de parametrização referente à envolvente – Parede Este, que surge nas ilustrações seguintes.



Ilustração 20 - Template referente a Parede Este

General

Parede Exterior ESTE

Source

Category: Walls

Region: PORTUGAL

Layers

Number of layers: 1

Single layer

Material: p 1

Thickness (m): 0,5000

Bridged?: No

Outside Surface

Fix convective heat transfer coefficient: No

Inside Surface

Fix convective heat transfer coefficient: No

Cross Section

Outer surface

Inner surface

Ilustração 21 - Input Data da Parede Este

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	0,431
R-Value (m ² -K/W)	2,491
U-Value (W/m ² -K)	0,401
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Upper resistance limit (m ² -K/W)	2,491
Lower resistance limit (m ² -K/W)	2,491
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	0,431
R-Value (m ² -K/W)	2,491
U-Value (W/m²-K)	0,401

Ilustração 22 - Input Data da Parede Este

Como se pode constatar, na Ilustração 23, todos os espaços estão adequadamente estruturados e parametrizados no que diz respeito, não só às paredes das zonas correntes, como também aos vários elementos construtivos tais que vigas, pilares e envidraçados, para efeitos de simulação de pontes térmicas lineares e planas.

Pois a diversidade das características dos espaços, obriga a uma cuidada parametrização de cada um.

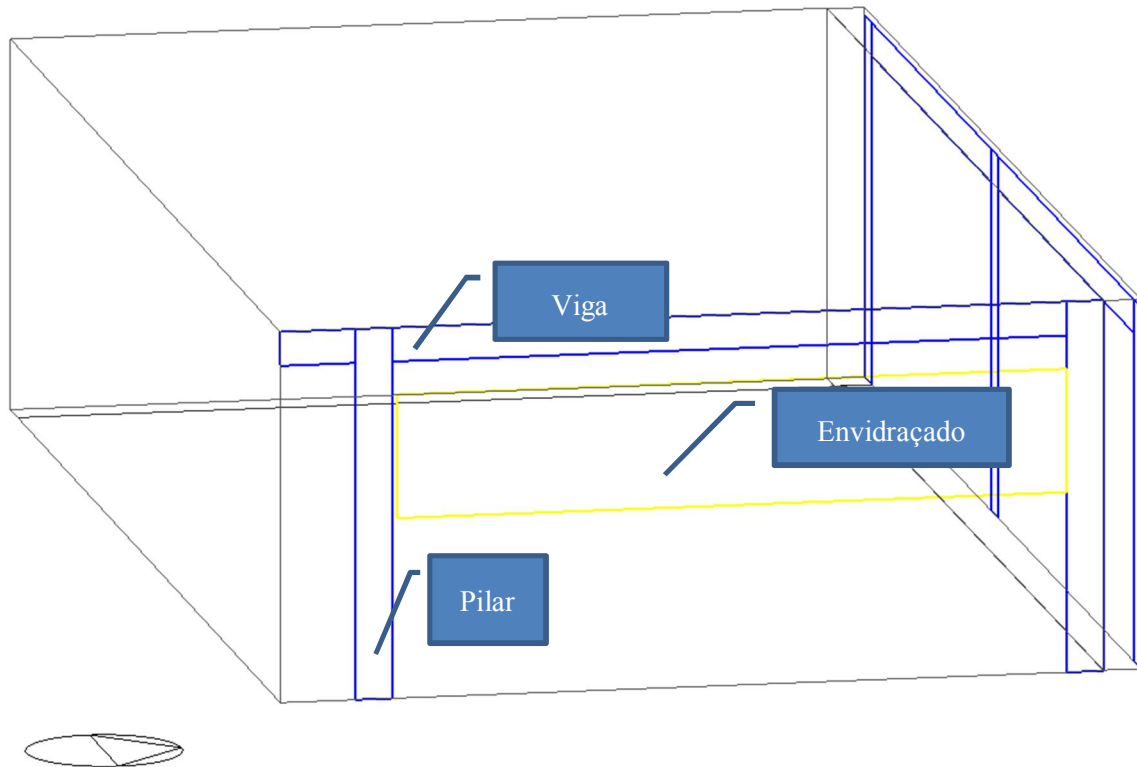


Ilustração 23 - Layout dos elementos construtivos da Sala E1

2.2.3 Parametrização da taxa de ocupação e da renovação de ar

Para os espaços de utilização em estudo e com exigências de ventilação mecânica, teve-se em atenção os valores mínimos de referência de renovação do ar exigidos por razões de qualidade de ar interior estabelecidos pelo RSECE [8].

Os caudais de ar novo foram ainda agravados pela eficiência de ventilação dos respectivos espaços. Daí resultam as seguintes densidades de ocupação e caudais específicos de cada espaço nas tabelas seguintes.

Tabela 10 - Densidades de ocupação por espaço útil

Espaço	Nº de ocupantes	Área [m ²]	Densidade de ocupação [ocup./m ²]
P1 – Sala E1	19	77,1	0,25
P1 – Sala E2	19	66,4	0,29
P1 – Sala E3	19	76,4	0,25
P1 – Sala E4	19	80,4	0,24
P1 – Sala E5	19	74,4	0,26
P1 - Circulação	16	115,3	0,14
P0 – Laboratório 1	19	82,6	0,23
P0 – Laboratório 2	19	115,7	0,16
P0 – Laboratório 3	19	91,8	0,21
P0 – Central Térmica	7	82,5	0,09
P0 – Recepção	3	31,9	0,10
P0 – Gabinete	6	50,9	0,12
P0 – Estar/Convívio	18	86,8	0,21
P-1 – Balneários Masc.	7	31,2	0,22
P-1 – Balneários Fem.	6	25,6	0,23

Tabela 11 - Requisitos de renovação de ar e especificação da ventilação

Espaço	Área [m ²]	Requisito [m ³ /h.ocup.]	Requisito [m ³ /h.m ²]	Ev (Eficiência de ventilação)	Materiais ecológic. limpos
P1 – Sala E1	77,1	30	-	1,00	Sim
P1 – Sala E2	66,4	30	-	0,80	Sim
P1 – Sala E3	76,4	30	-	1,00	Sim
P1 – Sala E4	80,4	30	-	0,80	Sim
P1 – Sala E5	74,4	30	-	0,80	Sim
P1 - Circulação	115,3	-	5	0,80	Sim
P0 – Laboratório 1	82,6	30	-	1,00	Não
P0 – Laboratório 2	115,7	30	-	1,00	Não
P0 – Laboratório 3	91,8	35	-	1,00	Não
P0 – Central Térmica	82,5	30	-	1,00	Não
P0 – Recepção	31,9	-	5	0,80	Não
P0 – Gabinete	50,9	35	-	0,80	Não
P0 – Estar/Convívio	86,8	-	5	1,00	Não

Tabela 12 - Caudal de ar novo requerido da solução

Espaço	Área [m ²]	Nº de ocupantes	Requisito [L/s.ocup.]	Requisito [L/s.m ²]	Caudal de ar novo da solução [L/s.ocup.]	Caudal de ar novo da solução [L/s.m ²]	Renovações [Rph]
P1 – Sala E1	77,1	19	8,33	-	8,33	-	2,5
P1 – Sala E2	66,4	19	8,33	-	10,41	-	3,6
P1 – Sala E3	76,4	19	8,33	-	8,33	-	2,5
P1 – Sala E4	80,4	19	8,33	-	10,41	-	3,0
P1 – Sala E5	74,4	19	8,33	-	10,41	-	3,2
P1 - Circulação	115,3	16	-	1,39	-	1,74	2,1
P0 – Laboratório 1	82,6	19	8,33	-	12,50	-	2,6
P0 – Laboratório 2	115,7	19	8,33	-	12,50	-	1,9
P0 – Laboratório 3	91,8	19	9,72	-	14,58	-	2,8
P0 – Central Térmica	82,5	7	8,33	-	12,50	-	1,0
P0 – Recepção	31,9	3	-	1,39	-	2,61	2,4
P0 – Gabinete	50,9	6	9,72	-	-	2,61	2,4
P0 – Estar/Convívio	86,8	18	-	1,39	-	2,09	1,9

Relativamente aos balneários, o RSECE não estabelece nenhum caudal de ar novo mínimo. De facto o que é importante aqui, não é fornecer a quantidade de ar, mas sim a extracção do ar de modo a poder controlar a humidade e a proliferação de odores. O valor usualmente considerado é de 100 m³/h por chuveiro de caudal de extracção, sendo que o ar de compensação admitido neste caso é proveniente da UTAN, e deverá ser inferior ao caudal de extracção cerca de 10% a 20%, de modo a deixar o espaço em depressão em relação ao espaço contíguo.

Deste modo temos os seguintes caudais de ar com uma redução de 10%, referentes aos balneários na Tabela 13.

Tabela 13 - Caudal de ar novo dos balneários

Espaço	Área [m ²]	Pé direito [m]	Nº de chuveiros	Caudal [m ³ /h]	Caudal [L/s.m ²]	Renovações [Rph]
P-1 – Balneário Masc.	31,2	4,50	7	630	5,61	4,5
P-1 – Balneário Fem.	25,6	4,50	6	540	5,86	4,7

Para efeitos de simulação foi ainda adoptado o seguinte horário de utilização no edifício em virtude do tipo de actividade que este apresenta.

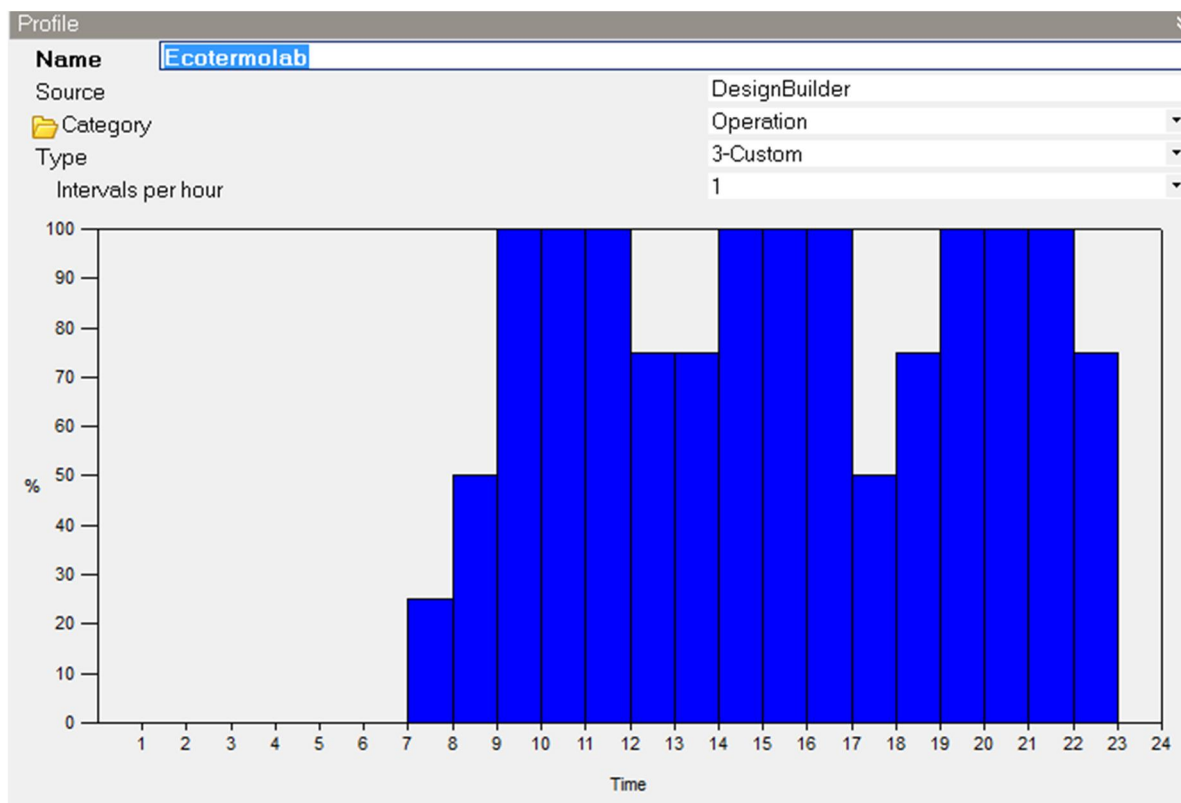


Ilustração 24 - Horário de funcionamento do edifício

Denota-se desta forma que este horário de funcionamento pressupõe um horário diurno e um nocturno pela ligeira quebra da taxa de ocupação situada entre as 17 e as 19 horas. O que permitirá em termos comparativos uma análise ao “Free-Cooling” diurno e nocturno.

2.2.4 Parametrização da iluminação

A modelação dos sistemas de iluminação artificial foi efectuada, em cada espaço, pela inclusão da potência total instalada, bem como as tecnologias de iluminação adoptadas. Teve-se em consideração o tipo de iluminaria, de modo a possibilitar a contabilização da sua influência nas cargas internas por via da sua dissipação térmica.

Relativamente à iluminação apresenta-se a densidade das potências instaladas em cada espaço útil do edifício, de acordo com a tecnologia e tipo de luminária instalada.

Tabela 14 - Densidade da potência dissipada pela iluminação

Espaço	Densidade da potência dissipada [W/m ²]	Tipo
P1 – Sala E1	9,5	Encastrado
P1 – Sala E2	6,9	Encastrado
P1 – Sala E3	6,7	Encastrado
P1 – Sala E4	6,5	Encastrado
P1 – Sala E5	11,4	Encastrado
P1 - Circulação	5,2	Suspenso
P0 – Laboratório 1	5,4	Suspenso
P0 – Laboratório 2	7,8	Suspenso
P0 – Laboratório 3	4,9	Suspenso
P0 – Central Térmica	7,9	Suspenso
P0 – Recepção	16,6	Suspenso
P0 – Gabinete	5,8	Encastrado
P0 – Estar/Convívio	4,2	Encastrado
P -1 – Zona Oficinal	3,8	Suspenso
P-1 – Balneários Masc	6,0	Suspenso
P-1 – Balneários Fem.	6,7	Suspenso
P-1 – Armazém	6,8	Suspenso

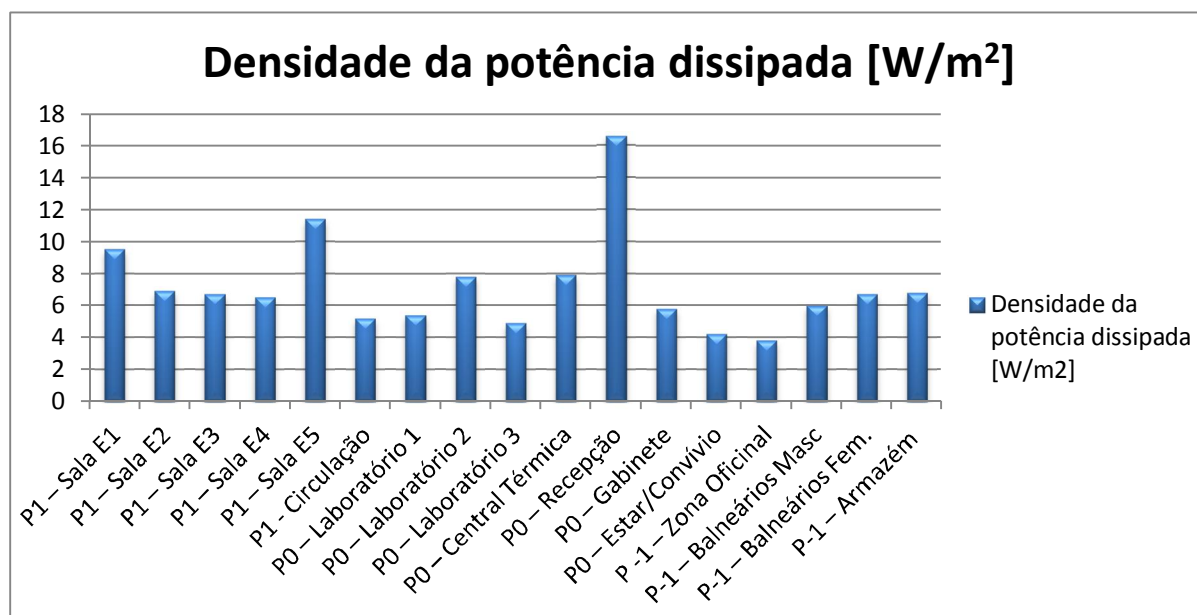


Ilustração 25 - Gráfico da potência dissipada pela iluminação

Os espaços referidos atrás tiveram ainda em conta o tipo de utilização em termos de horários de funcionamento, de acordo com a ocupação, de modo a poder calibrar o modelo computacional da forma mais correcta.

Eis um exemplo de parametrização aplicado na simulação, referente à iluminação.

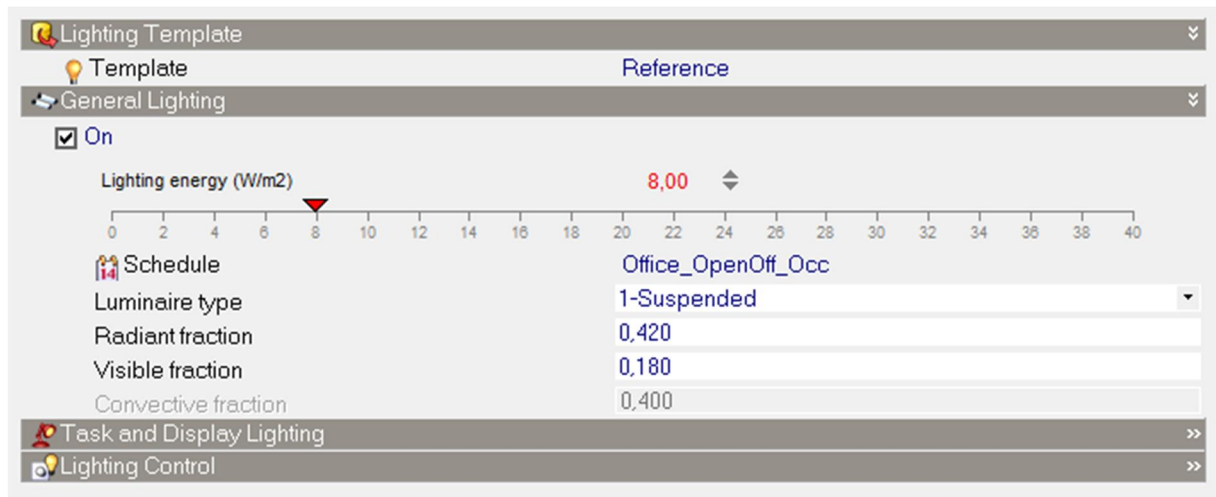


Ilustração 26 – Template de iluminação da Central Térmica

2.2.5 Parametrização de equipamentos

No que diz respeito aos equipamentos (computadores portáteis ou pessoais), foi feito um levantamento real de acordo com a ocupação, ou seja, foi contabilizado o número computadores portáteis e pessoais de cada ocupante em função do tipo de perfil de utilização de cada espaço e atribuído um ganho de calor médio de 100 W por cada computador, como se pode analisar na Tabela 15. [9]

Tabela 15 - Densidade da carga dissipada pelos equipamentos

Espaço	Área	Nº de computadores	Densidade da carga térmica [W/m ²]
P1 – Sala E1	77,1	19	24,7
P1 – Sala E2	66,4	19	28,6
P1 – Sala E3	76,4	19	24,9
P1 – Sala E4	80,4	19	26,6
P1 – Sala E5	74,4	19	25,5
P1 – Circulação	115,3	16	-
P0 – Laboratório 1	82,6	19	23,0
P0 – Laboratório 2	115,7	19	16,4
P0 – Laboratório 3	91,8	19	20,7
P0 – Central Térmica	82,5	7	-
P0 – Recepção	31,9	3	3,0
P0 – Gabinete	50,9	6	11,8
P0 – Estar/Convívio	86,8	18	-

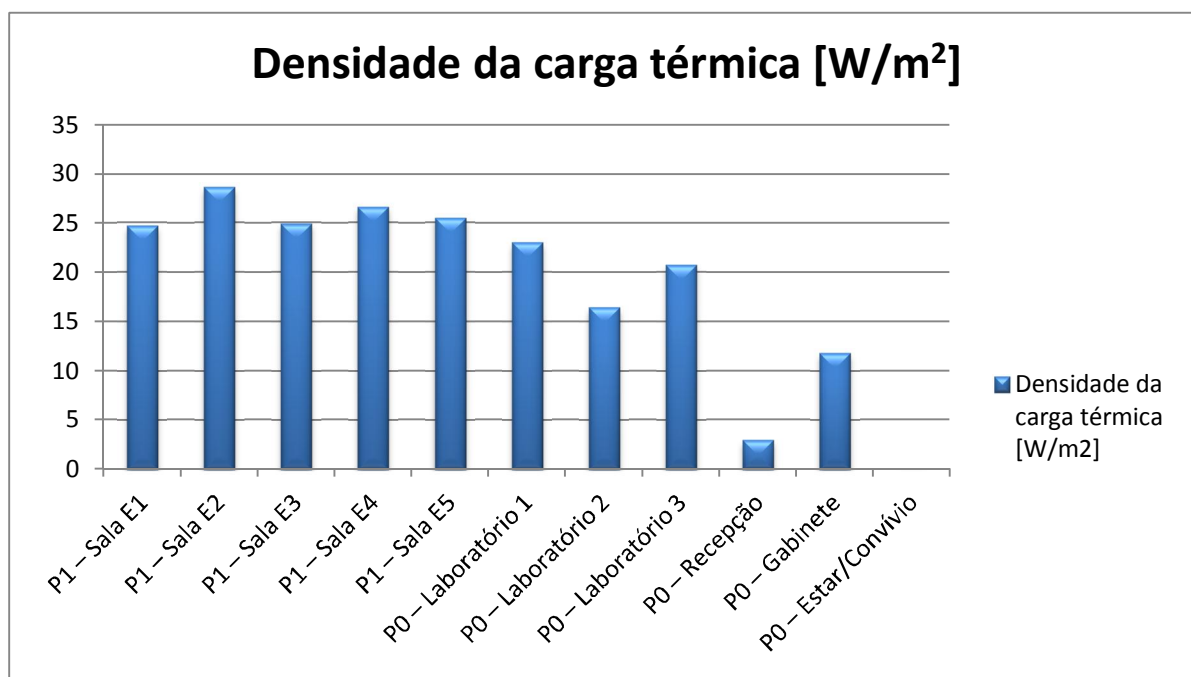


Ilustração 27 - Gráfico da densidade da carga térmica dos equipamentos

Na Central Térmica, na Sala de Estar/Convívio e na Circulação não foram considerados equipamentos, em função da sua utilização.

Segue um exemplo do *template* de parametrização referente aos dados atrás mencionados, desde ocupação, equipamentos, set-point de temperaturas internas exigidas, caudais de ar novo exigidos e função de utilização horária do espaço.

Activity Template

- IEE Zone conditioned type: 1-Conditioned
- Template: Generic Office Area
- Sector: B1 Offices and Workshop businesses
- Sub building: Main building
- Zone type: 1-Standard
- Zone multiplier: 1
- Include zone in thermal calculations
- Include zone in daylighting calculations

Occupancy

- Density (people/m2): 0,2600
- Schedule: Office_OpenOff_Occ

Metabolic

DHW

Environmental Control

Heating Setpoint Temperatures

- Heating (°C): 20,0
- Heating set back (°C): 12,0

Cooling Setpoint Temperatures

- Cooling (°C): 25,0
- Cooling set back (°C): 28,0

Ventilation Setpoint Temperatures

Minimum Fresh Air

- Fresh air (l/s-person): 10,500
- Mech vent per area (l/s-m2): 0,000

Lighting

Computers

- On
- Gain (W/m2): 26,00
- Schedule: Office_OpenOff_Equip
- Radiant fraction: 0,200

Office Equipment

Miscellaneous

Catering

Process

Ilustração 28 - Input do tipo de actividade da Sala E5

2.2.6 Parametrização do sistema de climatização

Relativamente ao sistema de climatização, o *DesignBuilder* também permite parametrizar o tipo de sistema, estando no entanto limitado aos seguintes *templates* disponíveis:

- Fan coil units – para modelação de unidades ventilo-convectores;
- Unitary Single Zone – para sistemas simples de expansão directa;
- Unitary Multizone – para sistemas de expansão directa mais complexos;
- CAV – para sistemas de volume de ar constante;
- VAV – para sistemas de volume de ar variável;

Tratando-se de uma instalação tudo-ar de Volume de Ar Variável, a opção remete-se para um sistema “*VAV with HR + outsider air reset*”, constituído por duas unidades de tratamento de ar novo com recuperação de calor sem recirculação, tentando aproximar o mais possível a parametrização das especificações dos equipamentos existentes, mencionados no subcapítulo Sistema de Climatização, sendo as UTAN1 e UTAN2 referente ao Piso 1 e Piso 0, respectivamente.

É apresentado um esquema do *template* na Ilustração 29

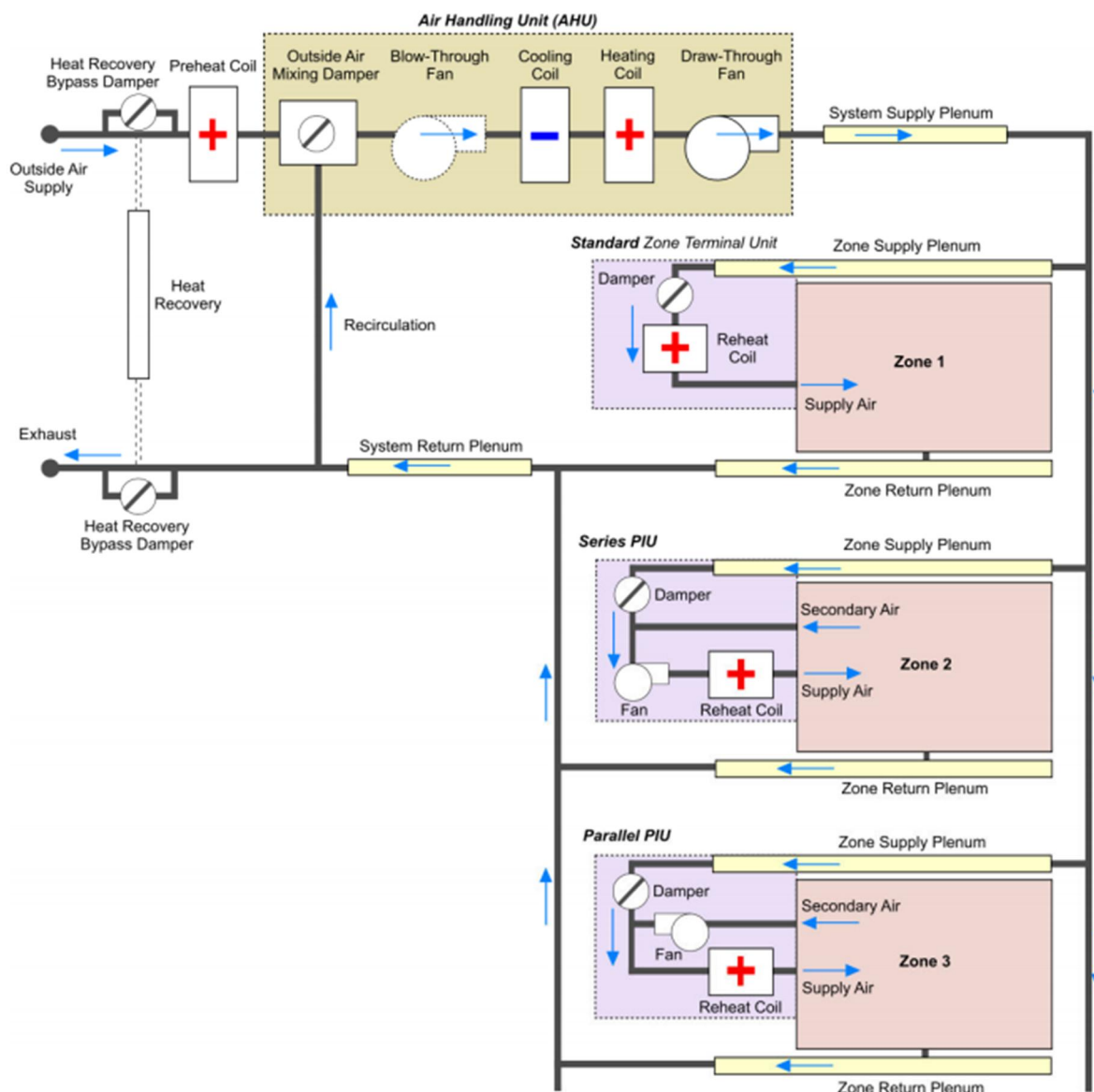


Ilustração 29 - Template do sistema VAV no *DesignBuilder*

Em quase tudo, o sistema em estudo é semelhante ao apresentado no *template* anterior, com a diferença de que não são considerados quaisquer equipamentos auxiliares localizados nas zonas a climatizar. O ar é único e exclusivamente tratado pelas unidades de tratamento de ar novo e o caudal a insuflar nas zonas, regulado através de registos de regulação de caudal (Dampers), sendo o ar de extracção expelido totalmente para o exterior sem qualquer recirculação, mas com a possibilidade de reaproveitar a sua energia calorífica através de “roda entálpica” na UTAN 1 (com eficiência de recuperação de 78%) e “permutador de fluxos cruzados” na UTAN 2 (com eficiência de recuperação de 61%).

A parametrização das unidades de tratamento de ar novo foi criada de acordo com as especificações técnicas de cada unidade, como é patente nos *templates* de parametrização a seguir ilustrados.

Data Report (Not Editable)	
General	
VAV with HR + outside air reset_UTA1	
Source	BRE
Category	Generic
Region	General
Simple	
Auxiliary energy (kWh/m2)	35,94
Compact	
Type	3-VAV
Colour Shading in Model	
Floor shade colour	
Natural Ventilation	
On	No
Mechanical Ventilation	
On	Yes
Rate	3,0
Fans	
Night cycle control	1-Stay off
Supply fan placement	1-Draw through
Part-load power coefficients	1-Inlet vane dampers
Fan type	1-Intake
Fan operation mode	1-Continuous
Pressure rise (Pa)	700,0
Total efficiency (%)	70,0
Fan motor in air (%)	100,0
Outside Air Mixing	
Outside air mixing	2-Full fresh air
Outside air minimum flow control type	1-Fixed
VAV Terminal Units	
Turndown ratio (supply air min flow fraction)	0,30
VAV terminal unit type	1-Standard
Terminal Unit Fans	
Pressure rise (Pa)	500,0
Total efficiency (%)	70,0

Ilustração 30 - Parametrização da UTAN 1

Economiser (free cooling)	
Economiser type	2-Return air temperature
Economiser lockout	1-No lockout
Economiser upper temperature limit (°C)	25,0
Economiser lower temperature limit (°C)	11,0
Economiser upper enthalpy limit (J/kg)	50000,0
Heat Recovery	
On	Yes
Heat recovery type	1-Sensible
Sensible Heat Recovery Effectiveness	0,780
Latent Heat Recovery Effectiveness	0,650
Heating setpoint temperature	15,00
Heating	
On	Yes
Fuel	2-Natural Gas
Preheat (hr)	1,0
Simple	
Heating system CoP	0,75
Heating system type	1-Convective
Supply Air Condition	
Supply air temperature (°C)	35,00
Supply air humidity ratio (g/g)	0,010
Compact	
Heat generation CoP	0,75
Heating distribution loss (%)	5,00
Central heating coil type	3-Hot water
Heating coil setpoint reset type	1-None
Heating coil setpoint (°C)	14,00
Corresponding outdoor low temperature (°C)	-6,70
Min off-coil setpoint temperature (°C)	12,00
Corresponding outdoor high temperature (°C)	10,00
Reheat type	1-None
Zone damper heating action	2-Reverse
Preheat type	1-None
Preheat coil setpoint (°C)	10,00

Ilustração 31 - Parametrização UTAN 1

Cooling	
Cooling On	Yes
Precool (hr)	0,0
Simple	
Cooling system CoP	1,73
Supply Air Condition	
Supply air temperature (°C)	12,00
Supply air humidity ratio (g/g)	0,008
Compact	
Chiller CoP	1,73
Cooling distribution loss (%)	5,00
Central cooling coil type	2-Chilled water
Cooling coil setpoint reset type	3-Warmest
Cooling coil setpoint (°C)	14,00
Corresponding outdoor high temperature (°C)	26,70
Max off-coil setpoint temperature (°C)	18,00
Corresponding outdoor low temperature (°C)	15,60
Air Temperature Distribution	
Distribution mode	1-Mixed
Interpolation mode	3-Inside-outside DeltaT
Upper Conditions	
Temperature (°C)	10,00
Heat rate (W)	1000,00
Temperature gradient (°C/m)	4,00
Lower Conditions	
Temperature (°C)	0,00
Heat rate (W)	0,00
Temperature gradient (°C/m)	0,00
Heights	
Thermostat height (m)	1,50
Return air height (m)	3,50

Ilustração 32 - Parametrização da UTAN 1

Relativamente ao sistema de climatização, ainda se procedeu a parametrização dos set-points de temperatura de insuflação e dos horários de ventilação e climatização, no *Template HVAC*.

Aqui são editados todos os parâmetros referentes ao sistema de AVAC, neste caso os mais relevantes a terem em consideração são o template relativo ao tipo de sistema utilizado, como é o caso do “*VAV with HR + outsider air reset*”, o método de definição do ar exterior, que permite definir qual o requisito referente ao ar novo mais penalizador, e os horários de arrefecimento e aquecimento.

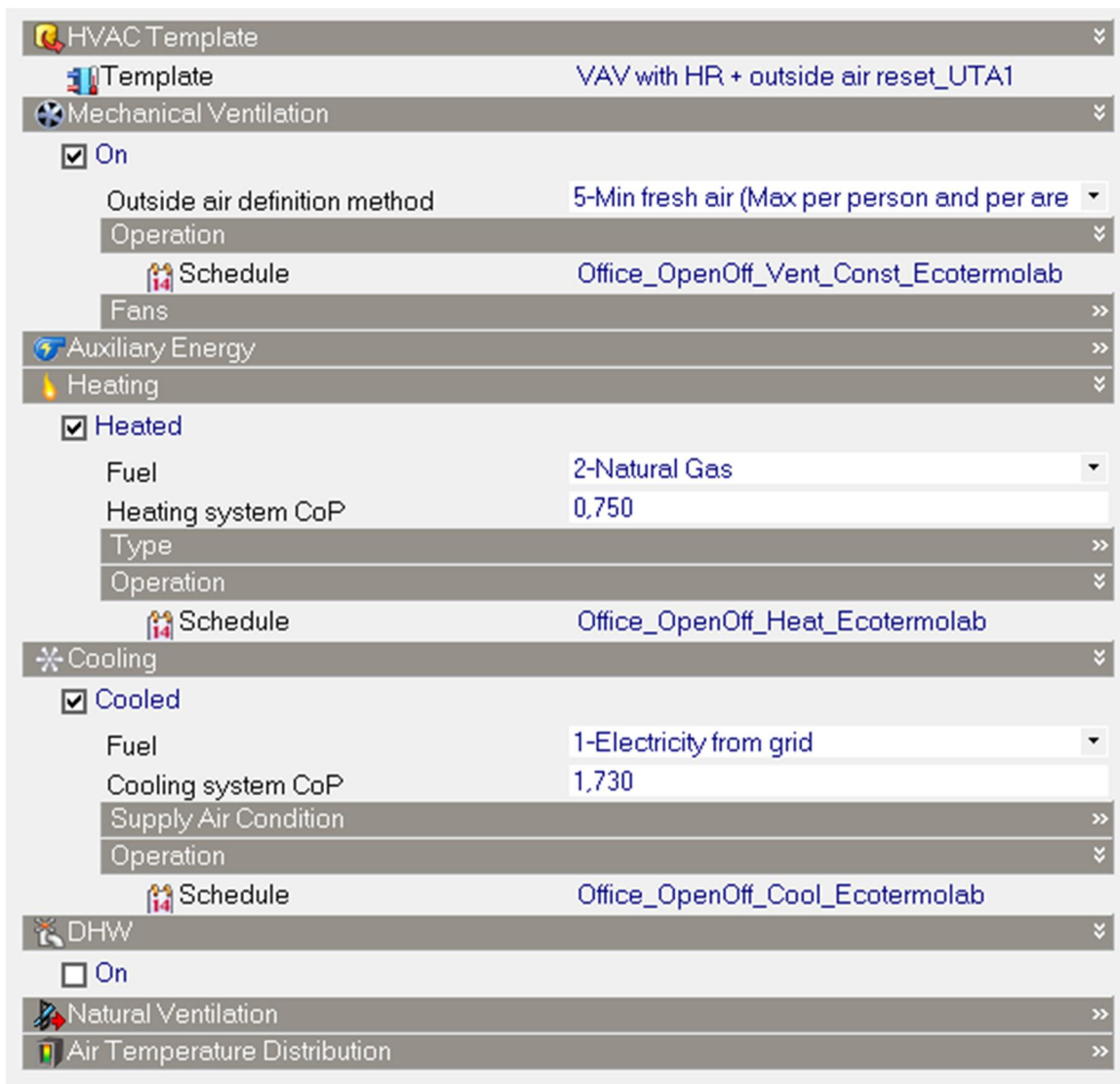


Ilustração 33 - Parametrização do sistema de climatização

2.2.7 Parametrização dos dados de saída

Tratando-se de uma análise dinâmica detalhada, devemos tratar o factor tempo como uma varável importante dado que a frequência com que os dados são obtidos é fundamental. Deste modo, as simulações decorrentes são simuladas hora a hora ao longo de 365 dias, de forma a permitir uma análise exaustiva e rigorosa das variáveis afectas ao comportamento climático do edifício.

Neste caso são seleccionados todos os *outputs* do módulo *Comfort* que permitem a consulta dos seguintes dados:

- Temperaturas envolvidas na simulação (interior e exterior);
- Ganhos pelas envolventes;
- Ganhos internos (ocupação, equipamentos, iluminação e ganhos solares);
- Ganhos pela ventilação;
- Ganhos totais;

Outro aspecto importante a ter em atenção ao nível da parametrização, remete-se para escolha do ficheiro climático relativo à localização geográfica do edifício, daí o *DesignBuilder/EnergyPlus* permitir integrar os dados climáticos do INETI. Sendo neste caso os dados climáticos referentes ao concelho de Vila Nova de Gaia. Tal permite ao programa, uma simulação dinâmica detalhada hora a hora ao longo do ano de acordo com a sua localização geográfica.

Efectuados os cálculos de simulação, é devolvido um vasto conjunto de dados referentes aos *outputs* previamente seleccionados, sendo estes dados transferidos para folhas de cálculo onde se procede ao seu tratamento e posterior análise.

3 Resultados obtidos

Após a concepção e parametrização do modelo computacional em *DesignBuilder/EnergyPlus* procedeu-se a diversas simulações de modo a poder analisar e comparar os resultados obtidos de acordo com os seguintes cenários:

- I. Carga ocupacional + equipamentos total e caudal de ar novo mínimo regulamentar;
- II. Carga ocupacional + equipamentos total e caudal de ar novo mínimo regulamentar agravado em 20%;
- III. Carga ocupacional + equipamentos à 50% e caudal de ar novo mínimo regulamentar;
- IV. Carga ocupacional + equipamentos total com caudal de ar novo mínimo regulamentar e temperatura interior máxima de 26°C;
- V. Carga ocupacional total sem equipamentos e caudal de ar novo mínimo regulamentar;
- VI. Carga ocupacional + equipamento e caudal de ar novo mínimo regulamentar com ventilação nocturna;

O estudo e a comparação dos resultados das simulações dos vários cenários têm como objectivo determinar qual o impacto da influência do ar novo na climatização dos espaços, em função da conjugação dos seguintes factores, iluminação, ocupação, equipamentos e temperatura exterior, estudando a possibilidade do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling” e explorando simultaneamente o efeito da variação do caudal de ar novo.

3.1 Simulação com carga ocupacional + equipamentos total e caudal de ar novo mínimo regulamentar

Numa primeira fase procedeu-se à simulação do edifício com a carga ocupacional + equipamentos total de acordo com o caudal de ar novo mínimo regulamentar.

Os dados obtidos da simulação estão organizados numa lógica temporal hora a hora ao longo de um ano, expondo as diferentes cargas afectas às envolventes, ventilação, iluminação, equipamentos, ocupação, ganhos solares, e ainda, os vários tipos de temperatura.

É apresentado em seguida na Ilustração 34, a título de exemplo, o *output* dos dados de simulação referente a um dia do ano ao acaso da Sala E1, pois como é perceptível não seria de todo possível a apresentação do output anual do espaço em questão.

Date/Time	Date/Time	Glazing [kW]	Walls [kW]	Ceilings (int) [kW]	Floors (int) [kW]	Partitions (int) [kW]	Sensible Cooling [kW]	Mech Vent + Nat Vent + Infiltration [rph]	External Vent. [kW]	Total Cooling [kW]	General Lighting [kW]	Computer + Equip [kW]	Occupancy [kW]	Solar Gains Exterior Windows [kW]	Zone Sensible Cooling [kW]	Air Temp. [°C]	Radiant Temp. [°C]	Operative Temp. [°C]	Outside Dry-Bulb Temp. [°C]	
01-08-2002								0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	27,1	27,5	27,3	19	
01-08-2002	01:00:00	-0,161	-0,057	0,189	-0,010	0,107	0,000	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	27,3	27,5	27,4	18	
01-08-2002	02:00:00	-0,165	-0,058	0,165	-0,009	0,109	0,000	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	27,3	27,5	27,4	17	
01-08-2002	03:00:00	-0,188	-0,066	0,173	-0,008	0,127	0,000	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	27,2	27,4	27,3	15	
01-08-2002	04:00:00	-0,203	-0,071	0,184	-0,007	0,142	0,000	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	27,1	27,3	27,2	14	
01-08-2002	05:00:00	-0,209	-0,073	0,372	-0,003	0,326	-0,795	0,0	0,000	-0,531	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,759	24,9	27,0	26,0	13
01-08-2002	06:00:00	0,126	0,295	-0,969	0,002	-0,509	-1,491	0,0	0,000	-1,147	0,000	0,000	0,000	2,348	-1,491	25,0	28,5	26,7	13	
01-08-2002	07:00:00	1,063	0,182	-0,856	0,023	-0,318	-1,254	2,6	-2,139	-0,633	0,202	0,504	0,322	2,052	-1,254	25	28,9	26,9	14	
01-08-2002	08:00:00	0,997	0,198	-0,835	0,018	-0,373	-2,373	2,5	-1,769	-0,900	0,403	1,008	0,643	1,900	-2,373	25	29,2	27,1	16	
01-08-2002	09:00:00	0,967	0,195	-0,935	0,015	-0,495	-4,457	2,5	-1,351	-2,517	0,806	2,015	1,287	1,790	-4,457	25	29,6	27,3	18	
01-08-2002	10:00:00	0,898	0,186	-0,733	0,012	-0,394	-4,929	2,5	-0,939	-3,457	0,806	2,015	1,287	1,633	-4,929	25	29,7	27,3	20	
01-08-2002	11:00:00	0,715	0,157	-0,437	0,007	-0,261	-5,169	2,5	-0,533	-3,829	0,806	2,015	1,287	1,282	-5,169	25	29,6	27,3	22	
01-08-2002	12:00:00	0,513	0,129	-0,033	0,003	-0,054	-4,521	2,5	-0,132	-3,397	0,605	1,512	0,965	0,910	-4,521	25	29,3	27,1	24	
01-08-2002	13:00:00	0,330	0,080	0,182	-0,001	0,027	-4,472	2,5	0,116	-3,304	0,605	1,512	0,965	0,601	-4,472	25	29,0	27,0	25	
01-08-2002	14:00:00	0,324	0,076	0,055	-0,002	-0,082	-5,391	2,5	0,313	-4,283	0,806	2,015	1,287	0,564	-5,391	25	29,0	27,0	26	
01-08-2002	15:00:00	0,284	0,066	0,093	-0,003	-0,045	-5,388	2,5	0,362	-4,469	0,806	2,015	1,287	0,494	-5,388	25	29,0	27,0	26	
01-08-2002	16:00:00	0,242	0,055	0,127	-0,004	-0,018	-5,316	2,5	0,362	-4,338	0,806	2,015	1,287	0,426	-5,316	25	28,9	26,9	26	
01-08-2002	17:00:00	0,160	0,037	0,442	-0,004	0,201	-3,447	2,5	0,215	-2,558	0,403	1,008	0,643	0,327	-3,447	25	28,5	26,7	25	
01-08-2002	18:00:00	0,078	0,008	0,351	-0,006	0,118	-3,687	2,5	-0,132	-2,473	0,605	1,512	0,965	0,207	-3,687	25	28,4	26,7	23	
01-08-2002	19:00:00	-0,087	-0,027	0,276	-0,007	0,080	-3,884	2,5	-0,533	-2,691	0,806	2,015	1,287	0,124	-3,884	25	28,3	26,6	21	
01-08-2002	20:00:00	-0,125	-0,052	0,325	-0,008	0,131	-3,372	2,5	-0,939	-2,297	0,806	2,015	1,287	0,003	-3,372	25	28,1	26,5	19	
01-08-2002	21:00:00	-0,140	-0,057	0,295	-0,008	0,127	-3,052	2,5	-1,196	-1,934	0,806	2,015	1,287	0,000	-3,052	25	28,0	26,5	18	
01-08-2002	22:00:00	-0,151	-0,059	0,396	-0,008	0,215	-1,998	2,5	-1,403	-1,093	0,605	1,512	0,965	0,000	-1,998	25	27,8	26,4	17	
01-08-2002	23:00:00	-0,174	-0,062	0,558	-0,010	0,286	0,000	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	26,6	27,5	27,0	16	

Ilustração 34 - Output de simulação da Sala E1

Como se pode verificar, o simulador permite uma análise exhaustiva e rigorosa acerca dos vários ganhos afectos ao espaço, bem como a determinação dos vários tipos de temperaturas envolvidas ao longo do tempo.

Da análise destes dados, verifica-se desde já uma correcta parametrização efectuada ao espaço em estudo. Logo a primeira vista, denota-se que a temperatura interior em horário de funcionamento (7h-23h) situa-se dentro dos parâmetros de temperatura de conforto, não ultrapassando os 25°C impostos (sendo o dia escolhido ao acaso o dia 1 de Agosto um dia típico de verão), estando bem patente na coluna do *Total Cooling* a respectiva carga a remover de forma a manter a temperatura interior dentro do intervalo de conforto em determinada hora do dia, assim como também, o caudal de ar coincide ao caudal de ar novo mínimo regulamentar parametrizado nos 2,5 Rph.

Depois da obtenção e do tratamento dos *outputs* referentes aos vários espaços do edifício, procedeu-se a elaboração de tabelas de dados que demonstrem e elucidem de uma forma sucinta, de acordo com os dados tratados da simulação, as horas ao longo do ano onde é possível o sistema de climatização funcionar em regime de “Free-Cooling” em cada espaço do edifício.

3.1.1 Resultados de simulação da Sala E1

Tabela 16 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [W]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0	0	-0,886	-0,472	-0,858	-0,854	-1,241	-1,283	-0,923	-0,504	-0,172	0
	09:00	-0,498	-0,393	-1,380	-0,992	-1,812	-1,931	-2,446	-2,390	-1,902	-1,213	-0,756	-0,388
	10:00	-1,140	-0,625	-1,775	-1,018	-2,129	-2,262	-2,764	-2,794	-2,111	-1,445	-1,720	-1,419
	11:00	-1,258	-0,705	-1,774	-1,050	-2,190	-2,333	-2,952	-2,950	-2,096	-1,622	-1,830	-1,488
	12:00	-1,415	-0,740	-1,646	-0,725	-1,728	-1,833	-2,502	-2,451	-1,626	-1,366	-1,781	-1,342
	13:00	-0,859	-0,481	-1,153	-0,608	-1,550	-1,653	-2,362	-2,262	-1,638	-1,305	-0,941	-0,593
	14:00	-0,766	-0,433	-1,041	-0,962	-2,096	-2,242	-2,857	-2,898	-2,150	-1,770	-0,543	-0,439
	15:00	-1,013	-0,706	-1,157	-1,148	-2,181	-2,381	-2,962	-3,069	-2,340	-1,904	-0,783	-0,574
	16:00	-1,140	-0,710	-1,110	-1,076	-2,035	-2,325	-2,913	-2,983	-2,309	-1,879	-1,081	-0,558
17:00	-1,984	-0,923	-0,756	-0,326	-0,889	-1,238	-1,681	-1,678	-1,169	-1,030	-2,107	-1,319	
Horário Nocturno	18:00	-0,543	-0,201	-0,956	-0,392	-0,881	-1,239	-1,637	-1,772	-1,281	-1,375	-0,674	-0,353
	19:00	0	0	-0,907	-0,803	-1,696	-1,637	-2,053	-2,492	-1,588	-1,457	0	0
	20:00	0	0	-0,243	-0,592	-1,435	-1,606	-1,877	-2,304	-1,323	-0,837	-0,144	0
	21:00	0	0	-0,126	-0,332	-0,759	-1,338	-1,562	-1,599	-1,096	-0,665	-0,117	0
	22:00	0	0	0	0	-0,270	-0,611	-0,877	-0,859	-0,570	-0,286	0	0
Total Geral		-0,463	-0,264	-0,672	-0,497	-1,045	-1,200	-1,551	-1,584	-1,105	-0,835	-0,558	-0,365

A Tabela 16 demonstra de uma forma simplificada e elucidativa, as horas ao longo do ano em que o sistema poderá funcionar em regime de “Free-Cooling” nos horários diurno e nocturno. Estão representadas as cargas necessárias a removerem ou fornecerem ao espaço de forma a manter a temperatura interior dentro do intervalo de conforto (20°C – 25°C).

Os zeros representados a azul demonstram as horas em que o sistema poderá funcionar em regime de “Free-Cooling”, ou seja, em que o caudal de ar novo mínimo regulamentar proveniente do exterior e à temperatura exterior, é suficiente para arrefecer o espaço de forma a manter a temperatura interior dentro do intervalo de conforto.

Da análise da Tabela 16, verifica-se que neste caso referente a Sala E1 o “Free-Cooling” só é possível em horário nocturno nos meses de Dezembro até Fevereiro, das 19 horas às 23 horas, deixando de ser praticável nas restantes horas do ano para o arrefecimento. Como se pode ver, o espaço tem necessidades de arrefecimento ao longo de todo o ano, sendo essas necessidades causadas sobretudo pelos ganhos produzidos pela ocupação, equipamentos, iluminação e ganhos solares, e da conjugação de um bom isolamento com uma inércia térmica média, que de certa forma irá reter ou direccionar durante a noite o calor acumulado durante o dia para dentro do espaço. Pois como se verifica na Tabela 16, a sala possui, no geral, necessidades de arrefecimento logo às primeiras horas da manhã, mesmo em estação de aquecimento em consequência do calor libertado durante a noite.

Como se pode verificar na Tabela 17, onde estão representadas as temperaturas médias anuais segundo dados do INETI para a localização de Vila Nova de Gaia, verifica-se que o diferencial de temperatura entre o ar exterior e o ar interior diminui com o aumento da temperatura exterior, o que penaliza a capacidade de arrefecimento do ar exterior e leve a que o caudal de ar novo mínimo não seja suficiente para conseguir remover a carga do espaço nas restantes horas do ano.

Tabela 17 - Temperatura média anual segundo dados do INETI (Vila Nova de Gaia), [°C]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	5	6	8	9	12	15	17	16	15	12	7	5
	09:00	6	7	9	11	14	16	18	18	16	13	8	6
	10:00	7	8	11	12	15	18	20	19	18	14	10	7
	11:00	9	9	12	14	17	19	22	21	20	16	11	9
	12:00	10	11	13	15	18	21	23	23	21	18	13	10
	13:00	12	12	14	16	19	22	24	24	23	19	14	12
	14:00	12	13	15	17	19	22	25	25	24	20	15	12
	15:00	13	13	15	17	20	23	25	25	24	20	16	13
	16:00	12	13	15	17	19	22	25	25	23	20	15	12
	17:00	11	12	14	16	19	22	24	24	22	19	14	11
Horário Nocturno	18:00	10	11	13	15	17	20	22	22	21	18	13	10
	19:00	9	10	11	14	16	19	21	21	19	16	12	9
	20:00	8	9	11	12	15	17	20	19	18	15	11	9
	21:00	8	8	10	11	14	16	18	18	17	15	10	8
	22:00	7	8	9	11	13	16	17	17	16	14	10	8
Total Geral	8	9	10	12	14	17	19	19	18	15	11	8	

3.1.2 Resultados de simulação da Sala E5

No caso da Sala E5, verifica-se na Tabela 18 ser possível o sistema funcionar em regime de “Free-Cooling” durante um período de tempo mais alargado em relação à Sala E1 durante o horário nocturno. Tratando-se de duas salas equiparadas em termos de área, ganhos por ocupação e equipamentos, mas diferindo no caudal de ar novo e no número de renovações horárias, sendo o da Sala E5 superior, 3,2 Rph, isto explica a razão do aumento da capacidade de “Free-Cooling” num período maior. Neste caso consegue-se um período de funcionamento em regime de “Free-Cooling” do mês de Novembro ao mês de Fevereiro, das 19 horas às 23 horas, decrescendo gradualmente a sua capacidade até ao mês de Abril para um início de funcionamento mais tardio do horário nocturno.

Tabela 18 – Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E5, [W]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,388	0,742	0	-0,181	-0,481	-0,377	-0,507	-0,458	-0,523	-0,308	0	0,346
	09:00	0,138	0,230	-0,245	-0,461	-0,945	-0,876	-1,290	-1,081	-1,052	-0,725	-0,100	0
	10:00	-0,300	-0,146	-0,750	-0,329	-1,083	-1,162	-1,677	-1,512	-1,161	-0,789	-0,803	-0,445
	11:00	-0,510	-0,260	-0,937	-0,256	-1,215	-1,359	-2,027	-1,834	-1,248	-0,901	-1,073	-0,714
	12:00	-0,779	-0,344	-0,945	-0,195	-1,057	-1,171	-1,865	-1,682	-1,059	-0,816	-1,152	-0,824
	13:00	-0,431	-0,217	-0,651	-0,175	-1,047	-1,194	-1,954	-1,741	-1,249	-0,892	-0,563	-0,371
	14:00	-0,428	-0,202	-0,587	-0,425	-1,673	-1,938	-2,616	-2,589	-1,929	-1,440	-0,291	-0,296
	15:00	-0,672	-0,322	-0,653	-0,798	-2,016	-2,410	-3,031	-3,151	-2,423	-1,797	-0,466	-0,391
	16:00	-0,719	-0,334	-0,657	-0,884	-2,087	-2,594	-3,175	-3,363	-2,561	-1,897	-0,738	-0,332
17:00	-1,276	-0,452	-0,420	-0,327	-1,092	-1,696	-2,089	-2,134	-1,478	-1,117	-1,624	-0,846	
Horário Nocturno	18:00	-0,246	0	-0,629	-0,360	-1,043	-1,664	-2,005	-2,172	-1,505	-1,264	-0,481	-0,135
	19:00	0	0	-0,616	-0,583	-1,609	-1,652	-2,063	-2,471	-1,437	-1,141	0	0
	20:00	0	0	0	-0,303	-1,199	-1,500	-1,776	-2,085	-1,013	-0,464	0	0
	21:00	0	0	0	0	-0,439	-1,097	-1,338	-1,259	-0,768	-0,316	0	0
	22:00	0	0	0	0	-0,107	-0,419	-0,689	-0,601	-0,335	0	0	0
Total Geral	-0,198	-0,058	-0,289	-0,224	-0,746	-0,932	-1,245	-1,234	-0,863	-0,592	-0,304	-0,160	

3.1.3 Resultados de simulação do Balneário Masculino

Em contraste com os espaços anteriores apresentados, destaca-se o Balneário Masculino. Onde segundo a análise da Tabela 19, se verifica que o sistema terá capacidade de funcionar em regime de “Free-Cooling” somente durante a estação de arrefecimento e com predominância no horário diurno. Neste caso, ao contrário dos espaços anteriores, os

valores demonstram haver necessidade de aquecimento ao longo de todo o ano. Tal se deve ao facto do espaço estar localizado no piso -1, não possuir qualquer outros ganhos internos a não ser da ocupação e possuir paredes em contacto com o solo, que como é sabido apresenta temperaturas inferiores à temperatura exterior, constituindo-se como uma importante fonte fria e poderá, no período de verão, intervir como uma fonte de dissipação de calor.

Tabela 19 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Masculino, [W]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	1,902	2,267	1,492	1,896	1,348	1,013	0,654	0,813	0,847	1,454	1,153	1,790
	09:00	1,483	2,151	1,491	1,519	0,991	0,582	0,328	0,375	0,526	1,145	1,085	1,061
	10:00	1,399	1,950	1,372	1,318	0,777	0,363	0,172	0,141	0,321	0,926	1,050	1,105
	11:00	1,390	1,754	1,198	1,093	0,527	0,190	0	0	0,117	0,646	0,984	1,148
	12:00	1,198	1,528	1,069	0,918	0,421	0,133	0	0	0	0,458	0,856	1,230
	13:00	1,260	1,405	1,019	0,730	0,301	0	0	0	0	0,296	0,963	1,381
	14:00	1,141	1,242	0,931	0,522	0,183	0	0	0	0	0,159	0,945	1,297
	15:00	1,041	1,055	0,822	0,463	0,170	0	0	0	0	0,124	0,788	1,171
	16:00	1,024	1,110	0,851	0,459	0,209	0	0	0	0	0,123	0,690	1,224
	17:00	0,615	1,004	1,053	0,722	0,385	0	0	0	0	0,249	0,377	0,838
Horário Nocturno	18:00	1,591	1,596	0,705	0,792	0,429	0	0	0	0	0,300	1,108	1,687
	19:00	2,050	1,873	1,192	0,809	0,375	0	0	0	0	0,472	1,554	1,904
	20:00	2,068	1,938	1,735	1,105	0,666	0,229	0	0	0,144	0,673	1,605	1,943
	21:00	2,159	2,069	1,907	1,299	0,989	0,406	0,167	0,124	0,283	0,805	1,718	2,044
	22:00	2,244	2,149	2,037	1,536	1,231	0,680	0,323	0,333	0,519	1,006	1,809	2,105
Total Geral	1,137	1,232	0,959	0,791	0,512	0,282	0,162	0,178	0,220	0,502	0,861	1,095	

Aqui ao contrário dos restantes espaços do edifício, o caudal de ar novo tem um efeito antagónico mas benéfico no aquecimento do balneário.

No anexo A podem ser consultadas as restantes tabelas demonstrativas das horas de "Free-Cooling" dos restantes espaços do edifício relativos a esta análise.

3.2 Simulação com carga ocupacional + equipamentos total e caudal de ar novo mínimo regulamentar agravado em 20%

Neste cenário, a única varável alterada é o caudal de ar novo que é agravado em 20%, mantendo-se rigorosamente as restantes variáveis inalteradas como as densidades de ocupação e equipamentos.

Os resultados enunciados neste capítulo vão permitir evidenciar qual a influência da variação do caudal de ar novo na capacidade do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling”.

De modo a manter uma linha de coerência e confrontação de resultados, são apresentados os resultados referentes aos espaços tratados no capítulo anterior.

3.2.1 Resultados de simulação da Sala E1

Da análise da Tabela 20, evidencia-se claramente um aumento da capacidade do sistema poder funcionar em regime de “Free-Cooling” na Sala E1.

Tabela 20 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,205	0	-0,704	-0,404	-0,784	-0,675	-1,043	-1,069	-0,796	-0,478	0	0,205
	09:00	-0,368	-0,327	-1,188	-0,814	-1,543	-1,627	-2,177	-2,088	-1,657	-1,065	-0,646	-0,260
	10:00	-0,996	-0,543	-1,557	-0,715	-1,791	-1,911	-2,513	-2,496	-1,828	-1,215	-1,575	-1,238
	11:00	-1,144	-0,600	-1,560	-0,705	-1,881	-2,014	-2,740	-2,692	-1,818	-1,367	-1,666	-1,360
	12:00	-1,279	-0,588	-1,430	-0,484	-1,483	-1,581	-2,333	-2,234	-1,408	-1,164	-1,588	-1,218
	13:00	-0,782	-0,397	-0,988	-0,391	-1,337	-1,440	-2,227	-2,090	-1,463	-1,128	-0,785	-0,537
	14:00	-0,692	-0,343	-0,857	-0,671	-1,847	-2,003	-2,708	-2,727	-1,952	-1,564	-0,398	-0,393
	15:00	-0,891	-0,509	-0,897	-0,847	-1,931	-2,145	-2,824	-2,910	-2,155	-1,679	-0,547	-0,475
	16:00	-0,981	-0,499	-0,809	-0,780	-1,779	-2,094	-2,778	-2,820	-2,127	-1,664	-0,830	-0,426
17:00	-1,736	-0,677	-0,519	-0,191	-0,727	-1,080	-1,576	-1,557	-1,039	-0,894	-1,917	-1,122	
Horário Nocturno	18:00	-0,478	-0,173	-0,823	-0,251	-0,693	-1,043	-1,492	-1,621	-1,124	-1,259	-0,637	-0,303
	19:00	0	0	-0,773	-0,601	-1,487	-1,392	-1,873	-2,328	-1,375	-1,260	0	0
	20:00	0	0	0	-0,366	-1,184	-1,351	-1,669	-2,082	-1,060	-0,575	0	0
	21:00	0	0	0	-0,140	-0,474	-1,030	-1,309	-1,316	-0,831	-0,408	0	0
	22:00	0	0	0	0	-0,114	-0,393	-0,673	-0,627	-0,367	-0,127	0	0
Total Geral	-0,381	-0,191	-0,522	-0,337	-0,849	-0,985	-1,361	-1,377	-0,922	-0,679	-0,447	-0,296	

Com um caudal de ar novo agravado em 20%, o sistema passa a poder responder mais cedo, abarcando o mês de Novembro, mantendo-se constante até Fevereiro e baixando a sua capacidade gradualmente até Abril, ainda que sempre com capacidade evidente somente durante o horário nocturno.

Este aumento de caudal de ar novo induz num aumento de capacidade do sistema poder funcionar em regime de “Free-Cooling” expressivo, tendo em consideração que no primeiro cenário com o caudal regulamentar se consegue uma disponibilidade de 418 horas

anuais de “Free-Cooling”, passando depois a alcançar uma disponibilidade de 484 horas com o agravamento do caudal. Isto representa um aumento de 16% da capacidade do sistema.

3.2.2 Resultados de simulação da Sala E5

Em relação à Sala E5 e pela análise da Tabela 21, pode-se desde já determinar que o número de horas de “Free-Cooling” mantem-se igual, sem grandes alterações relativamente aos horários de funcionamento em regime de “Free-Cooling”.

Tabela 21 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E5, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,720	1,107	0,239	-0,149	-0,474	-0,335	-0,425	-0,418	-0,505	-0,276	0,117	0,463
	09:00	0,390	0,587	-0,171	-0,464	-0,877	-0,728	-1,113	-0,897	-0,934	-0,700	0	0,131
	10:00	-0,207	-0,121	-0,657	-0,288	-0,923	-0,896	-1,467	-1,267	-0,948	-0,736	-0,737	-0,381
	11:00	-0,446	-0,234	-0,888	-0,180	-1,014	-1,078	-1,828	-1,593	-1,006	-0,800	-1,016	-0,639
	12:00	-0,733	-0,326	-0,898	-0,145	-0,887	-0,945	-1,713	-1,481	-0,861	-0,714	-1,101	-0,783
	13:00	-0,391	-0,204	-0,613	-0,110	-0,892	-1,000	-1,829	-1,578	-1,084	-0,781	-0,525	-0,332
	14:00	-0,405	-0,194	-0,541	-0,260	-1,432	-1,693	-2,461	-2,408	-1,722	-1,259	-0,252	-0,277
	15:00	-0,650	-0,280	-0,540	-0,539	-1,742	-2,144	-2,876	-2,967	-2,213	-1,559	-0,337	-0,383
	16:00	-0,683	-0,278	-0,460	-0,585	-1,796	-2,324	-3,020	-3,169	-2,350	-1,662	-0,549	-0,316
17:00	-1,124	-0,365	-0,275	-0,190	-0,893	-1,489	-1,955	-1,977	-1,313	-0,964	-1,448	-0,747	
Horário Nocturno	18:00	-0,198	0	-0,497	-0,241	-0,821	-1,419	-1,830	-1,987	-1,319	-1,172	-0,433	0
	19:00	0	0	-0,536	-0,467	-1,399	-1,385	-1,868	-2,294	-1,216	-0,986	0	0
	20:00	0	0	0	-0,212	-0,974	-1,232	-1,556	-1,854	-0,756	-0,278	0	0
	21:00	0	0	0	0	-0,227	-0,793	-1,084	-0,979	-0,521	-0,153	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	-0,235	-0,500	-0,393	-0,175	0	0	0
Total Geral		-0,136	-0,013	-0,237	-0,151	-0,628	-0,783	-1,131	-1,110	-0,741	-0,508	-0,264	-0,116

Aqui o incremento da energia livre, proveniente do aumento de caudal do ar exterior, não é suficiente ao ponto de permitir um aumento da capacidade do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling”, ou seja, o diferencial de temperatura entre o ar exterior e o ar interior, ainda que conjugado com um aumento de caudal, é insuficiente no aumento da capacidade do sistema, acabando por favorecer somente a diminuição das necessidades de arrefecimento.

3.2.3 Resultados de simulação do Balneário Masculino

No caso do Balneário Masculino, como se pode verificar na Tabela 22, não houve grandes discrepâncias com o aumento de caudal a não ser uma ligeira diminuição do número de horas da capacidade do sistema. O espaço continua com predominância de necessidades de aquecimento.

Tabela 22 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Masculino, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	2,093	2,541	1,629	2,158	1,508	1,131	0,723	0,902	0,934	1,633	1,217	1,975
	09:00	1,621	2,432	1,664	1,752	1,130	0,664	0,373	0,428	0,596	1,308	1,166	1,128
	10:00	1,570	2,242	1,564	1,521	0,885	0,411	0,193	0,158	0,362	1,059	1,175	1,229
	11:00	1,572	2,017	1,367	1,261	0,595	0,212	0	0	0,128	0,735	1,108	1,292
	12:00	1,352	1,757	1,217	1,041	0,461	0,143	0	0	0	0,505	0,965	1,401
	13:00	1,416	1,600	1,149	0,822	0,328	0	0	0	0	0,321	1,082	1,571
	14:00	1,279	1,411	1,053	0,595	0,205	0	0	0	0	0,174	1,067	1,476
	15:00	1,183	1,210	0,943	0,529	0,192	0	0	0	0	0,138	0,903	1,347
	16:00	1,166	1,279	0,980	0,527	0,240	0	0	0	0	0,137	0,788	1,414
17:00	0,675	1,151	1,214	0,806	0,423	0	0	0	0	0,264	0,411	0,950	
Horário Nocturno	18:00	1,806	1,821	0,766	0,904	0,483	0,107	0	0	0	0,325	1,244	1,930
	19:00	2,371	2,168	1,365	0,940	0,430	0,114	0	0	0	0,543	1,795	2,204
	20:00	2,412	2,264	2,029	1,291	0,776	0,270	0	0	0,168	0,784	1,875	2,269
	21:00	2,521	2,419	2,234	1,522	1,161	0,479	0,199	0,150	0,333	0,942	2,010	2,390
	22:00	2,623	2,515	2,385	1,787	1,429	0,788	0,373	0,386	0,598	1,164	2,119	2,463
Total Geral	1,282	1,404	1,084	0,896	0,570	0,309	0,175	0,192	0,239	0,560	0,968	1,240	

3.3 Comparativo entre caudal de ar novo regulamentar e agravado em 20%

Desta forma procedeu-se a elaboração de comparativos entre os resultados adquiridos das simulações dos espaços com caudal de ar novo regulamentar e agravado em 20%, de modo a verificar as variações na capacidade do sistema funcionar em regime de "Free-Cooling".

As ilustrações seguintes demonstram a variação da capacidade do sistema, bem como a influência que o caudal exerce sobre a carga no espaço ao longo do período anual.

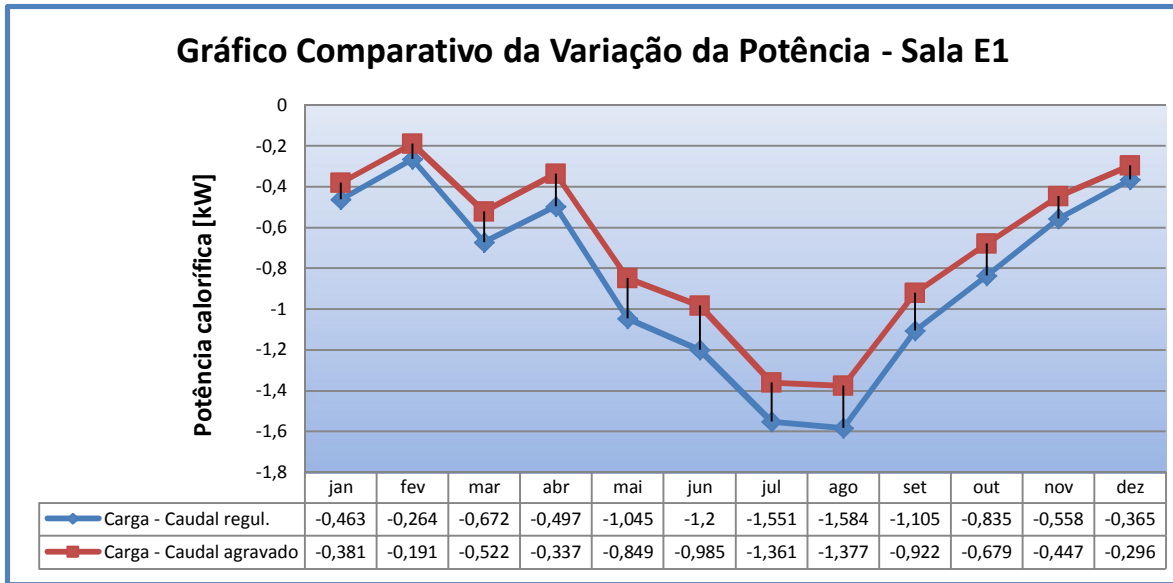


Ilustração 35 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1

Da análise da Ilustração 35 da Sala E1, verifica-se que com o agravamento do caudal, há um decréscimo da potência de arrefecimento afecto ao espaço ao longo do ano, com maior expressividade nos meses mais quentes.

Relativamente ao número de horas anual, verifica-se segundo a Ilustração 36 um aumento de 16% das horas do regime em “Free-Cooling”, durante o horário nocturno.

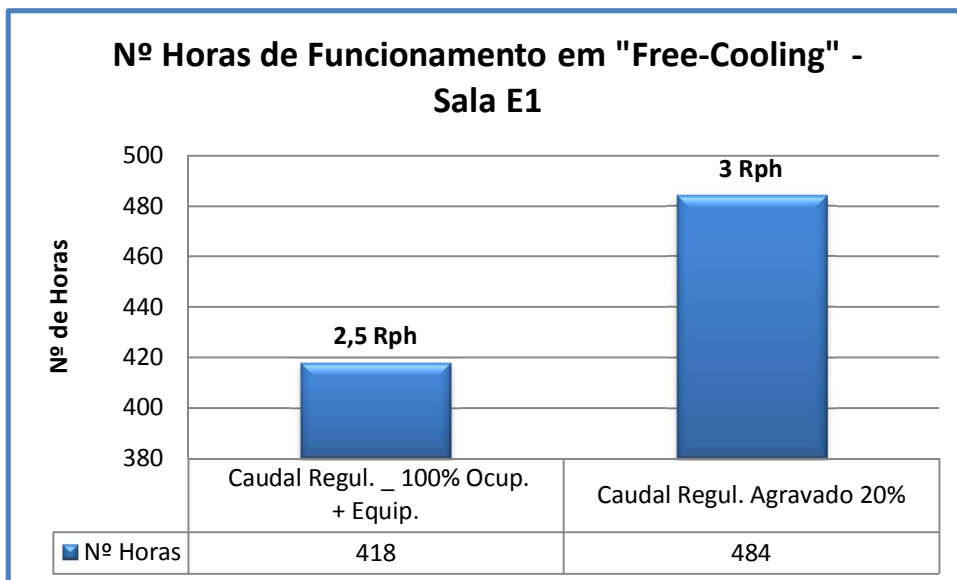


Ilustração 36 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1

O que leva a concluir após análise dos dados, que no caso da Sala E1, um agravamento do caudal de 20% contribui de forma favorável não só no aumento de horas de funcionamento do sistema em regime de “Free-Cooling”, como também na redução das necessidades de arrefecimento, o que leva a uma poupança energética significativa tanto no horário nocturno como no diurno.

No caso da Sala E5, o comportamento das necessidades de arrefecimento varia da seguinte forma, segundo a Ilustração 37.

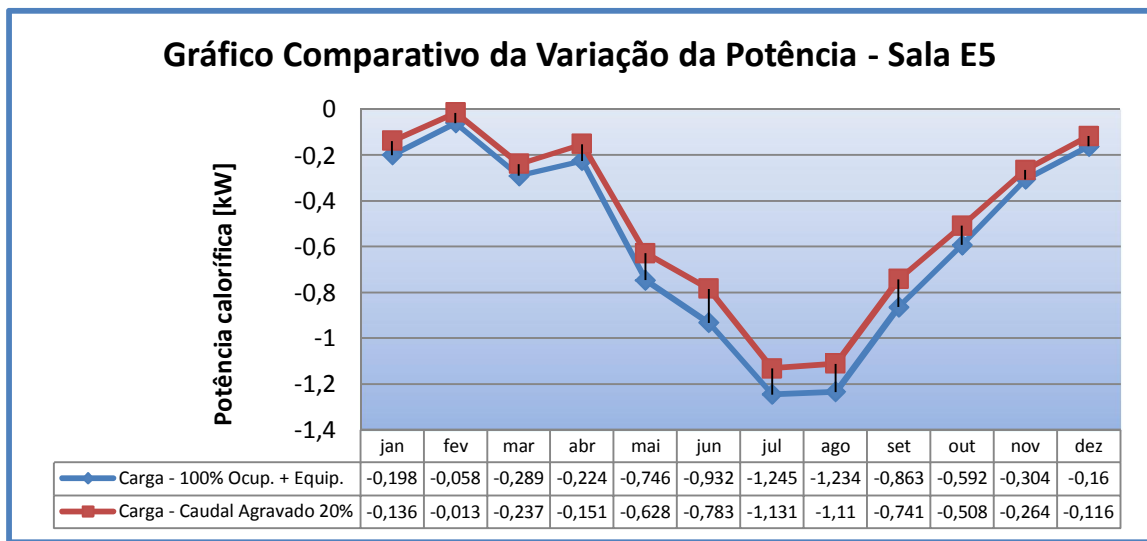


Ilustração 37 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E5

Tal como na Sala E1, há uma redução da carga ao longo de todo o ano, com maior expressividade nos meses mais quentes.

Em relação ao número de horas de funcionamento em regime de “Free-Cooling” como se pode verificar pela ilustração seguinte:

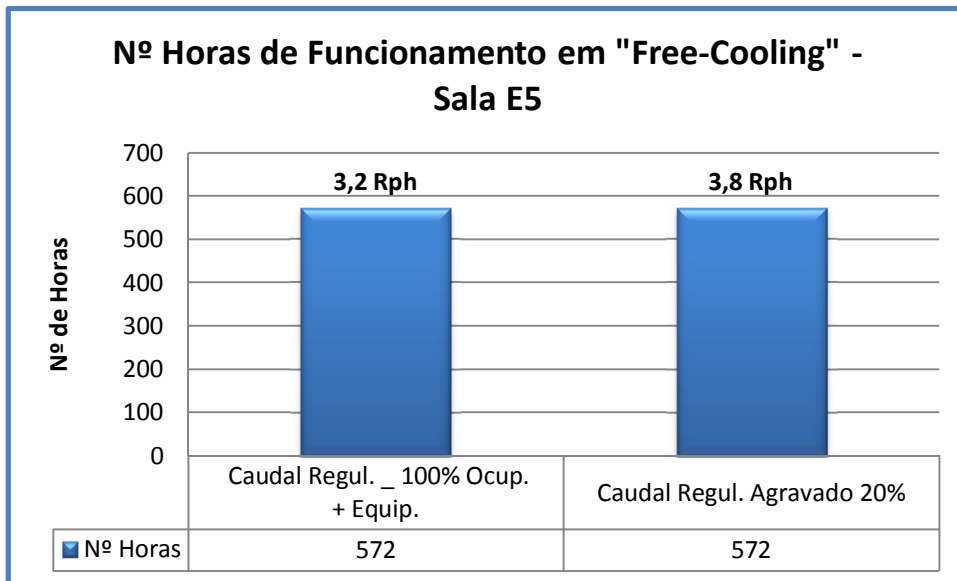


Ilustração 38 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E5

O número de horas mantém-se constante, pelo simples facto do caudal de ar novo regulamentar já ultrapassar o valor de caudal óptimo para o sistema funcionar na sua capacidade máxima em regime de "Free-Cooling", restando como única variável capaz de produzir efeito o diferencial de temperatura entre o ar exterior e o ar interior. Dai se verificar uma conseqüente redução das cargas de arrefecimento.

A Ilustração 39 que se segue demonstra o comportamento térmico do Balneário Masculino.

Como está bem patente, o espaço tem necessidades de aquecimento ao longo de todo o ano com maior realce durante os meses mais frios.

Neste caso, é evidente o efeito penalizador que o agravamento de caudal tem sobre as necessidades de aquecimento, pois como seria de esperar a introdução de ar mais frio num espaço que a partida possui necessidades de aquecimento leva ao seu agravamento. Verifica-se então um aumento gradual ao longo da meia-estação e estação de aquecimento, onde o diferencial entre a temperatura do ar exterior e do ar interior é mais acentuado.

Gráfico Comparativo da Variação da Potência - Balneário Masculino

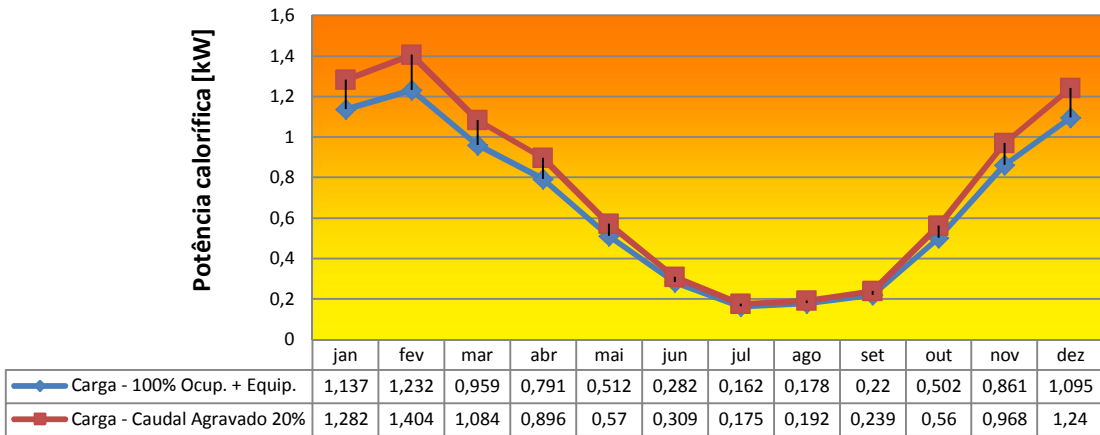


Ilustração 39 - Gráfico comparativo da variação da potência do Balneário Masculino

Pela análise da Ilustração 40 verifica-se que o agravamento de caudal também tem um efeito penalizador nas horas de funcionamento, induzindo numa redução de cerca de 6% do período de funcionamento.

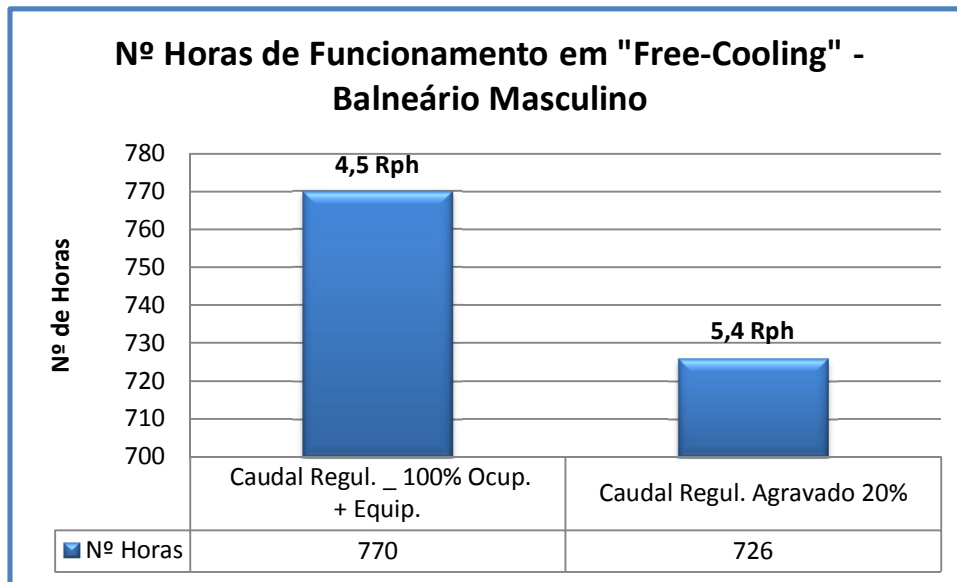


Ilustração 40 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" do Balneário Masculino

3.4 Simulação com 50% da carga ocupacional + equipamentos e caudal de ar novo mínimo regulamentar

Nesta fase procedeu-se à simulação do edifício com a carga ocupacional + equipamentos reduzida a 50% mantendo o caudal de ar novo mínimo regulamentar inicial.

3.4.1 Resultados de simulação da Sala E1

Como se pode ver pela Tabela 23 e em comparação com os dados da Tabela 16, a redução da ocupação e dos equipamentos em 50% na Sala E1 têm um efeito considerável no aumento da capacidade do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling”, visto a diminuição da carga originada pela ocupação e equipamentos.

Tabela 23 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,324	0,198	-0,301	-0,215	-0,522	-0,488	-0,820	-0,824	-0,529	-0,263	0	0,273
	09:00	0	0	-0,519	-0,404	-0,886	-0,952	-1,434	-1,304	-0,949	-0,568	0	0
	10:00	-0,187	-0,139	-0,729	-0,318	-1,016	-1,126	-1,646	-1,582	-1,033	-0,653	-0,444	-0,173
	11:00	-0,317	-0,217	-0,795	-0,284	-1,056	-1,194	-1,801	-1,725	-1,043	-0,695	-0,649	-0,332
	12:00	-0,475	-0,264	-0,756	-0,197	-0,867	-0,974	-1,603	-1,512	-0,812	-0,602	-0,703	-0,447
	13:00	-0,284	-0,185	-0,532	-0,139	-0,755	-0,869	-1,510	-1,377	-0,853	-0,593	-0,344	-0,213
	14:00	-0,253	-0,155	-0,441	-0,220	-0,987	-1,158	-1,746	-1,714	-1,104	-0,782	-0,161	-0,164
	15:00	-0,363	-0,177	-0,388	-0,306	-1,030	-1,250	-1,817	-1,840	-1,234	-0,833	-0,178	-0,221
	16:00	-0,365	-0,159	-0,261	-0,266	-0,935	-1,204	-1,779	-1,767	-1,217	-0,823	-0,237	-0,165
17:00	-0,524	-0,180	-0,147	0	-0,404	-0,678	-1,107	-1,040	-0,618	-0,436	-0,598	-0,250	
Horário Nocturno	18:00	-0,127	0	-0,231	0	-0,342	-0,579	-0,958	-0,973	-0,580	-0,568	-0,216	0
	19:00	0	0	-0,259	-0,204	-0,654	-0,656	-1,050	-1,295	-0,644	-0,551	0	0
	20:00	0	0	0	-0,109	-0,498	-0,598	-0,885	-1,125	-0,428	-0,158	0	0
	21:00	0	0	0	0	-0,105	-0,403	-0,627	-0,615	-0,272	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	-0,112	-0,290	-0,231	0	0	0	0
Total Geral		-0,102	-0,057	-0,232	-0,133	-0,452	-0,569	-0,888	-0,868	-0,505	-0,324	-0,148	-0,054

Ainda segundo os dados da Ilustração 41, é bem patente o aumento de número de horas do sistema em funcionamento, ascendendo a cerca de 79%.

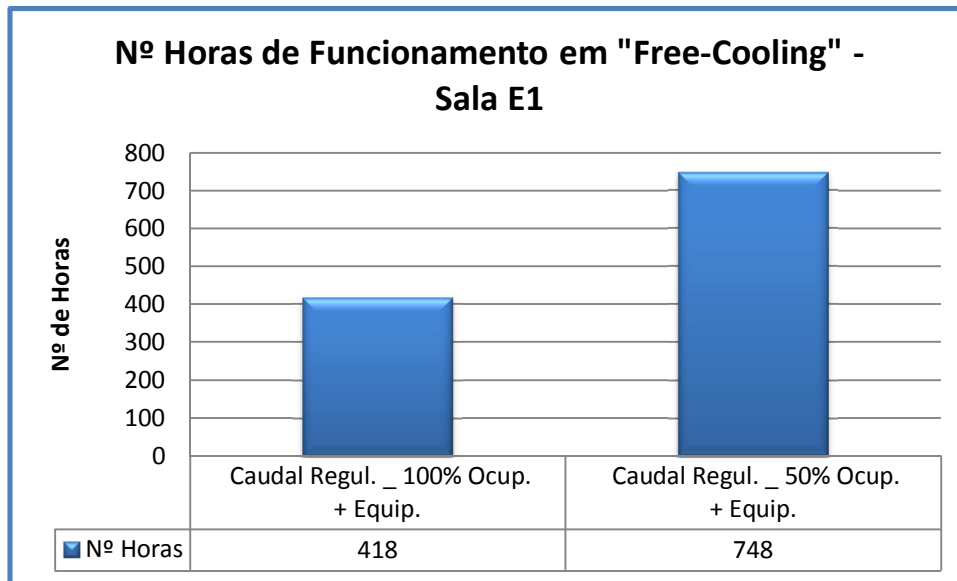


Ilustração 41 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1

Segundo a Ilustração 42, é elucidativa a variação da necessidade de arrefecimento ao longo de todo o ano. Decaindo em média para valores abaixo dos 50%, demonstrando desta forma o peso que as cargas provenientes da ocupação e dos equipamentos acarretam no espaço.

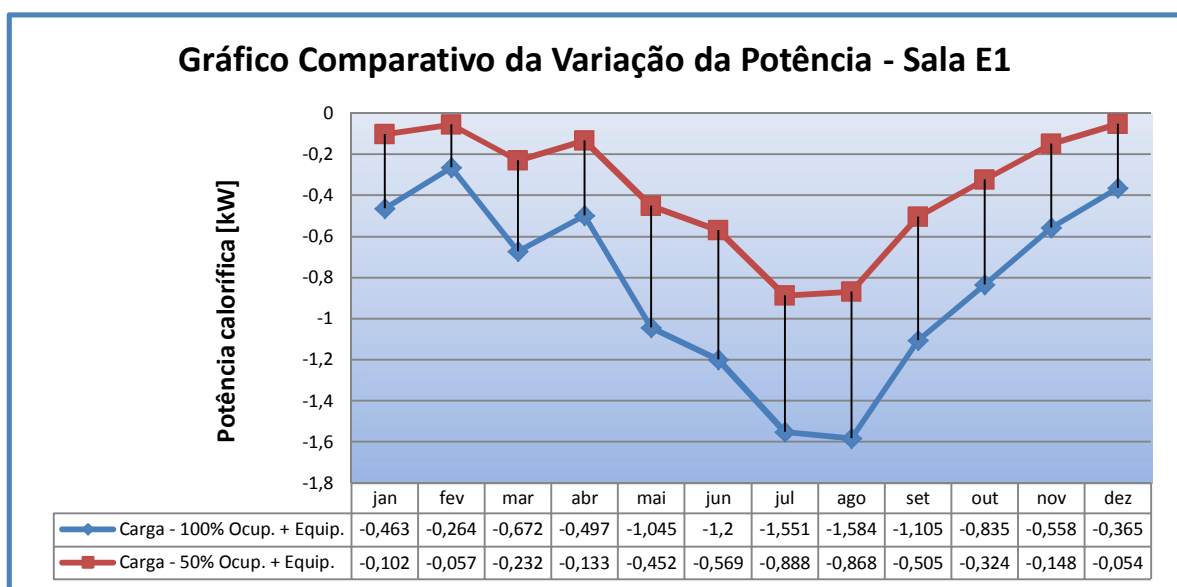


Ilustração 42 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1

3.4.2 Resultados de simulação da Sala E5

Relativamente à Sala E5, verifica-se na Tabela 24 um desfasamento significativo das horas de funcionamento do sistema em regime de “Free-Cooling” durante o horário nocturno em comparação com os dados da Tabela 18 e o aparecimento de alguns períodos extensos de “Free-Cooling” durante o horário diurno. Este aparecimento localiza-se sobretudo na fase de transição em que as necessidades no espaço passam de aquecimento para arrefecimento durante os meses mais frios, originando deste modo períodos relativamente extensos de funcionamento em regime de “Free-Cooling”.

Quanto ao desfasamento em horário nocturno, as horas onde inicialmente era conseguido o efeito de “Free-Cooling”, passou a haver necessidades de aquecimento, remetendo essas horas de “Free-Cooling” da estação de aquecimento para meia-estação, onde o diferencial entre a temperatura do ar interior e do ar exterior é menor. Pois daqui depreende-se que o caudal de ar exterior promove uma remoção do calor no espaço superior ao que é exigido de forma a manter a temperatura do espaço no intervalo de conforto.

Tabela 24 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E5, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,744	1,176	0,330	0,103	-0,224	-0,213	-0,273	-0,278	-0,285	0	0,145	0,472
	09:00	0,516	0,901	0,143	-0,142	-0,437	-0,373	-0,612	-0,448	-0,477	-0,308	0	0,218
	10:00	0,275	0,325	0	-0,119	-0,459	-0,403	-0,821	-0,612	-0,417	-0,371	0	0,109
	11:00	0,186	0,145	-0,185	0	-0,492	-0,473	-1,056	-0,816	-0,432	-0,393	0	0
	12:00	0	0	-0,277	0	-0,460	-0,481	-1,077	-0,862	-0,396	-0,341	-0,243	0
	13:00	0	0	-0,213	0	-0,466	-0,540	-1,182	-0,942	-0,572	-0,386	-0,126	0,134
	14:00	0	0	-0,226	0	-0,721	-0,956	-1,581	-1,479	-0,959	-0,607	0	0
	15:00	-0,115	0	-0,234	-0,176	-0,915	-1,320	-1,927	-1,958	-1,349	-0,788	-0,118	-0,110
	16:00	-0,152	0	-0,150	-0,183	-1,012	-1,488	-2,066	-2,158	-1,491	-0,874	-0,158	0
	17:00	-0,199	0	0	0	-0,581	-1,102	-1,498	-1,469	-0,904	-0,518	-0,354	-0,115
Horário Nocturno	18:00	0,220	0	0	-0,109	-0,479	-0,969	-1,316	-1,353	-0,795	-0,531	0	0,285
	19:00	0,281	0,122	0	-0,172	-0,652	-0,729	-1,110	-1,332	-0,593	-0,415	0	0,282
	20:00	0,201	0	0	0	-0,433	-0,584	-0,855	-1,004	-0,272	0	0	0,224
	21:00	0,284	0,151	0	0	0	-0,315	-0,516	-0,422	-0,132	0	0	0,295
	22:00	0,379	0,226	0	0	0	0	-0,217	-0,123	0	0	0	0,342
Total Geral		0,151	0,153	-0,035	-0,030	-0,322	-0,450	-0,724	-0,676	-0,401	-0,234	-0,035	0,125

Quanto a análise das necessidades térmicas, segundo a ilustração seguinte e a tabela anterior, também aqui se verifica uma redução considerável das necessidades de arrefecimento, chegando mesmo, nos meses mais frios, a converterem-se para necessidades de aquecimento. Pois o caudal insuflado contribui para uma remoção de energia calorífica superior à necessária para manter a temperatura interior dentro do intervalo de conforto térmico, conforme enunciado atrás. Como se pode constatar, durante os meses mais frios e em horário nocturno, passou a haver somente necessidades de aquecimento e no horário diurno um aumento considerável do período de aquecimento na parte da manhã.

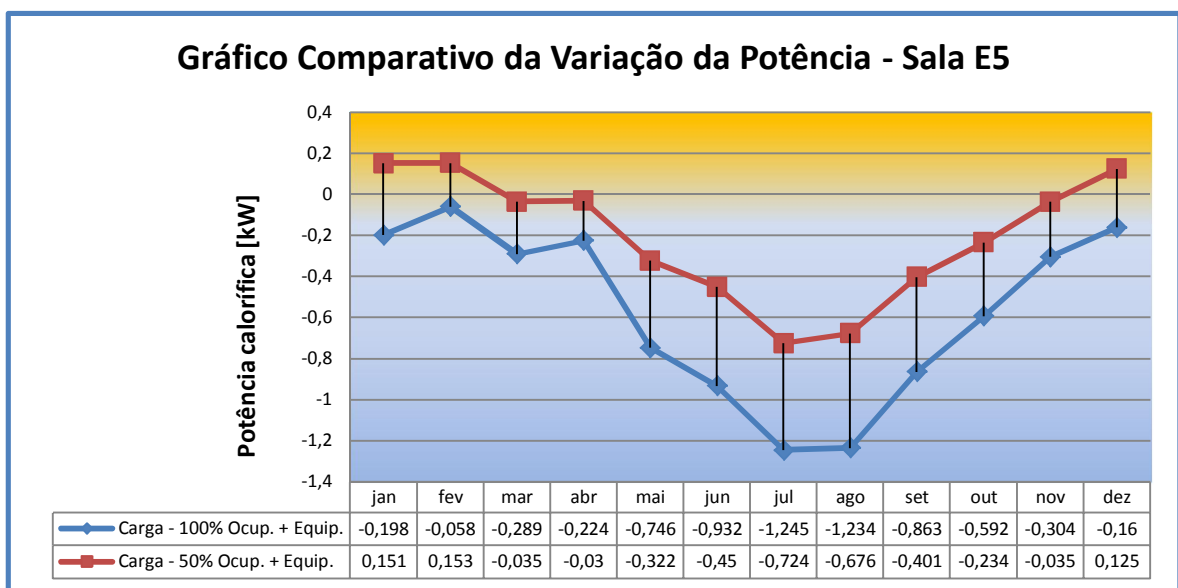


Ilustração 43 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E5

Na Ilustração 44, está demonstrado o aumento do número de horas de funcionamento do sistema. Verifica-se um incremento de 462 horas ao reduzir-se a taxa ocupacional e de equipamentos em 50%.

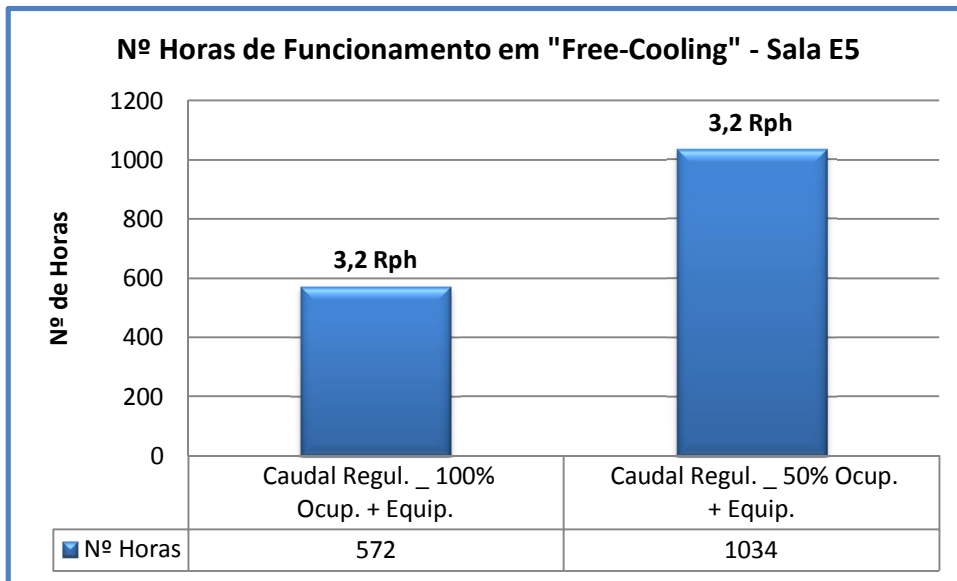


Ilustração 44 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E5

O que se traduz num aumento muito expressivo da capacidade do sistema funcionar em regime de "Free-Cooling" em cerca de 81%.

3.4.3 Resultados de simulação do Balneário Masculino

No caso do Balneário Masculino e devido à redução ocupacional, verifica-se uma diminuição da capacidade do sistema em aquecer o espaço, comparando os dados da tabela seguinte com os dados da Tabela 19.

Tabela 25 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Masculino, [kW]

	Hora	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	1,965	2,333	1,572	1,993	1,457	1,127	0,757	0,935	0,959	1,558	1,224	1,852
	09:00	1,586	2,256	1,622	1,693	1,184	0,779	0,457	0,575	0,717	1,326	1,198	1,161
	10:00	1,583	2,137	1,569	1,495	0,973	0,547	0,291	0,295	0,512	1,116	1,246	1,283
	11:00	1,578	1,943	1,398	1,271	0,722	0,330	0,133	0	0,260	0,836	1,183	1,329
	12:00	1,387	1,719	1,261	1,060	0,561	0,207	0	0	0,115	0,603	1,056	1,412
	13:00	1,410	1,557	1,179	0,868	0,414	0,132	0	0	0	0,406	1,122	1,526
	14:00	1,290	1,394	1,099	0,691	0,293	0	0	0	0	0,268	1,104	1,441
	15:00	1,230	1,247	1,022	0,629	0,275	0	0	0	0	0,224	0,987	1,353
	16:00	1,215	1,303	1,052	0,629	0,320	0	0	0	0	0,224	0,890	1,408
17:00	0,807	1,197	1,237	0,825	0,481	0,117	0	0	0	0,338	0,577	1,022	
Horário Nocturno	18:00	1,703	1,711	0,833	0,932	0,568	0,161	0	0	0	0,436	1,227	1,796
	19:00	2,199	2,025	1,359	0,986	0,557	0,207	0	0	0,152	0,649	1,712	2,047
	20:00	2,257	2,130	1,936	1,284	0,871	0,394	0,151	0,132	0,296	0,868	1,805	2,125
	21:00	2,349	2,262	2,110	1,480	1,195	0,600	0,287	0,280	0,475	1,004	1,920	2,227
	22:00	2,435	2,342	2,232	1,681	1,395	0,854	0,434	0,505	0,687	1,169	2,012	2,289
Total Geral	1,246	1,344	1,076	0,892	0,609	0,352	0,206	0,225	0,284	0,598	0,978	1,201	

É bem patente na Ilustração 45 esta redução em termos de horas de funcionamento. Verificando-se um decréscimo de cerca de 26% da capacidade.

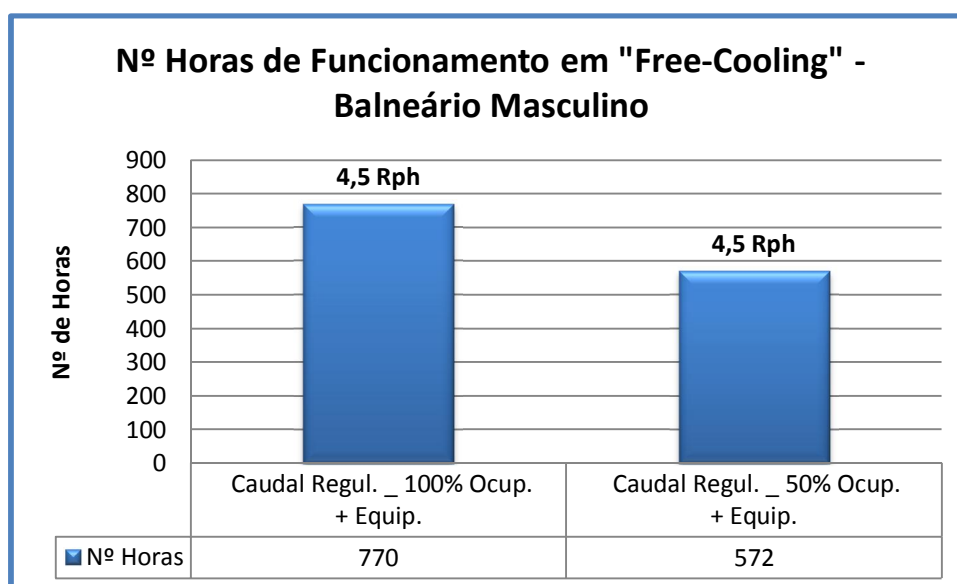


Ilustração 45 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" do Balneário Masculino

Aqui na Ilustração 46, também é elucidativo o aumento efectivo das necessidades de aquecimento ao longo de todo o ano, ainda que esse aumento seja pouco expressivo.

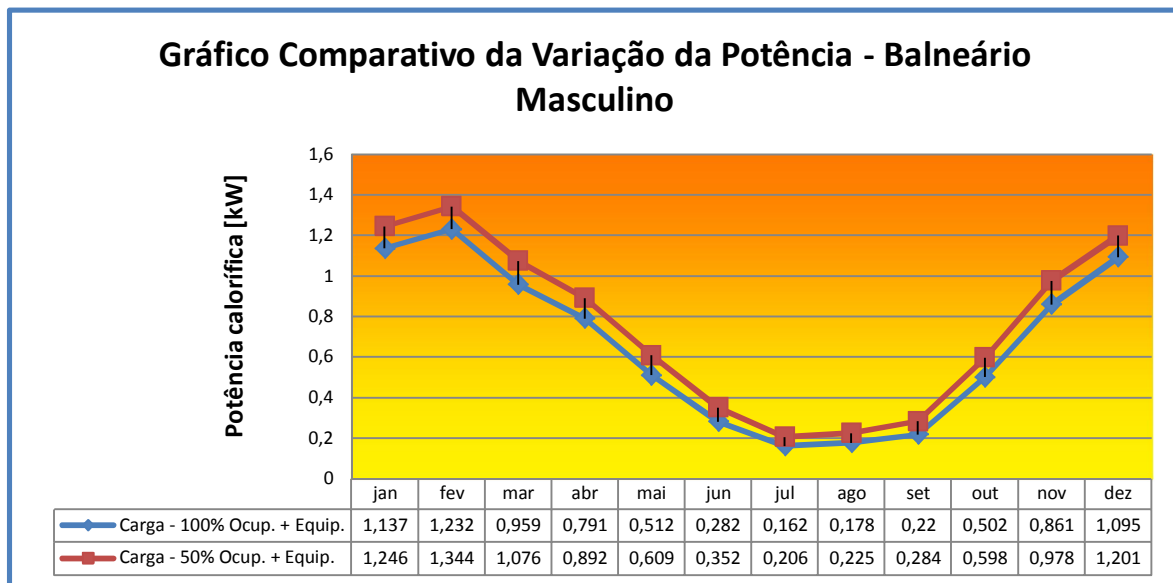


Ilustração 46 - Gráfico comparativo da variação da potência do Balneário Masculino

3.5 Simulação com 100% da carga ocupacional + equipamentos com caudal de ar novo mínimo regulamentar e temperatura interior máxima de 26°C

Segundo os dados da Tabela 26 e em comparação com os da Tabela 16, verifica-se um ligeiro aumento da capacidade do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling” durante o horário nocturno. Tal se deve ao simples facto de se ter aumentado a temperatura máxima interior de 25°C para 26°C segundo a norma ISO 7730.

Tabela 26 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0	0	-0,729	-0,410	-0,784	-0,746	-1,111	-1,149	-0,818	-0,456	0	0,118
	09:00	-0,403	-0,302	-1,227	-0,894	-1,673	-1,760	-2,272	-2,196	-1,761	-1,104	-0,588	-0,283
	10:00	-0,964	-0,532	-1,636	-0,885	-1,958	-2,080	-2,589	-2,604	-1,944	-1,303	-1,520	-1,208
	11:00	-1,115	-0,617	-1,650	-0,896	-2,025	-2,141	-2,778	-2,756	-1,912	-1,470	-1,671	-1,326
	12:00	-1,294	-0,645	-1,526	-0,609	-1,572	-1,634	-2,339	-2,266	-1,461	-1,223	-1,649	-1,229
	13:00	-0,776	-0,420	-1,050	-0,503	-1,411	-1,492	-2,208	-2,088	-1,473	-1,173	-0,828	-0,536
	14:00	-0,691	-0,373	-0,946	-0,823	-1,933	-2,051	-2,687	-2,702	-1,969	-1,617	-0,457	-0,398
	15:00	-0,920	-0,596	-1,036	-1,001	-2,009	-2,197	-2,793	-2,871	-2,151	-1,725	-0,665	-0,517
	16:00	-1,020	-0,590	-0,968	-0,934	-1,866	-2,140	-2,744	-2,787	-2,128	-1,711	-0,927	-0,481
17:00	-1,786	-0,784	-0,635	-0,241	-0,768	-1,087	-1,542	-1,523	-1,027	-0,910	-1,952	-1,173	
Horário Nocturno	18:00	-0,469	-0,171	-0,867	-0,323	-0,772	-1,090	-1,501	-1,612	-1,152	-1,250	-0,601	-0,309
	19:00	0	0	-0,791	-0,712	-1,546	-1,470	-1,897	-2,344	-1,443	-1,324	0	0
	20:00	0	0	-0,152	-0,481	-1,322	-1,460	-1,735	-2,133	-1,168	-0,706	0	0
	21:00	0	0	0	-0,250	-0,635	-1,178	-1,405	-1,445	-0,949	-0,541	0	0
	22:00	0	0	0	0	-0,184	-0,491	-0,750	-0,723	-0,454	-0,197	0	0
Total Geral		-0,410	-0,222	-0,594	-0,421	-0,942	-1,078	-1,434	-1,456	-0,992	-0,743	-0,486	-0,319

Pela análise da Ilustração 47 verifica-se o aumento do número de horas em funcionamento. Este aumento ascende em cerca de 16% da capacidade inicial, onde a temperatura interior máxima estava fixada nos 25°C. A justificativa deste fenómeno deve-se ao facto do intervalo de temperatura de conforto ter aumentado, levando a um aumento do diferencial de temperatura entre o ar exterior e interior de forma a permitir a remoção da carga no espaço num período mais alargado, como é o caso do mês de Novembro em horário nocturno.

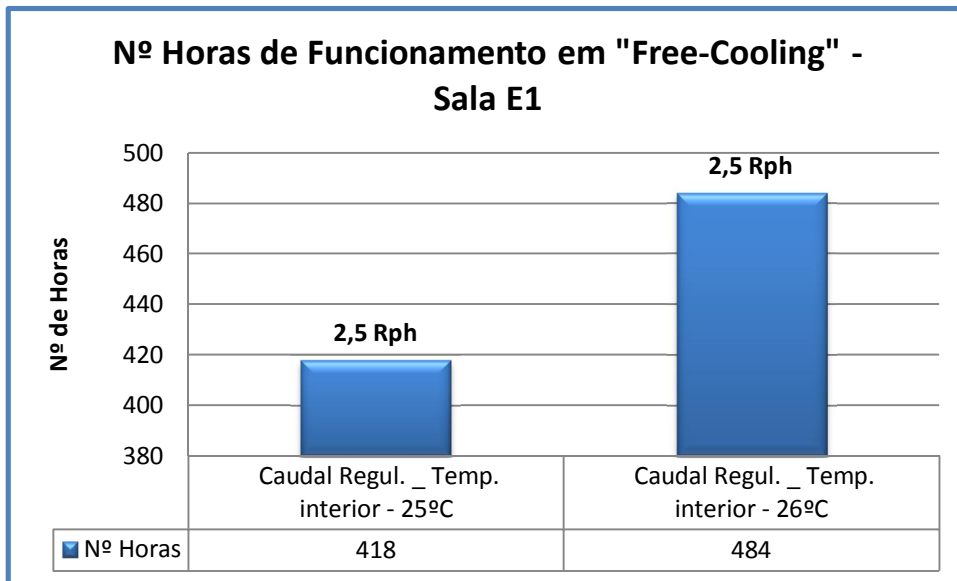


Ilustração 47 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1

Da análise da Ilustração 48, é perceptível a diminuição das necessidades de arrefecimento afectas ao espaço, o que demonstra a afectação e a influência que o aumento de um grau centígrado na temperatura máxima interior tem sobre o comportamento térmico do espaço. Tal leva não só a uma amenização da carga de arrefecimento como a um aumento da capacidade do sistema funcionar em regime de "Free-Cooling", traduzindo-se acima de tudo numa diminuição dos consumos energéticos favorável.

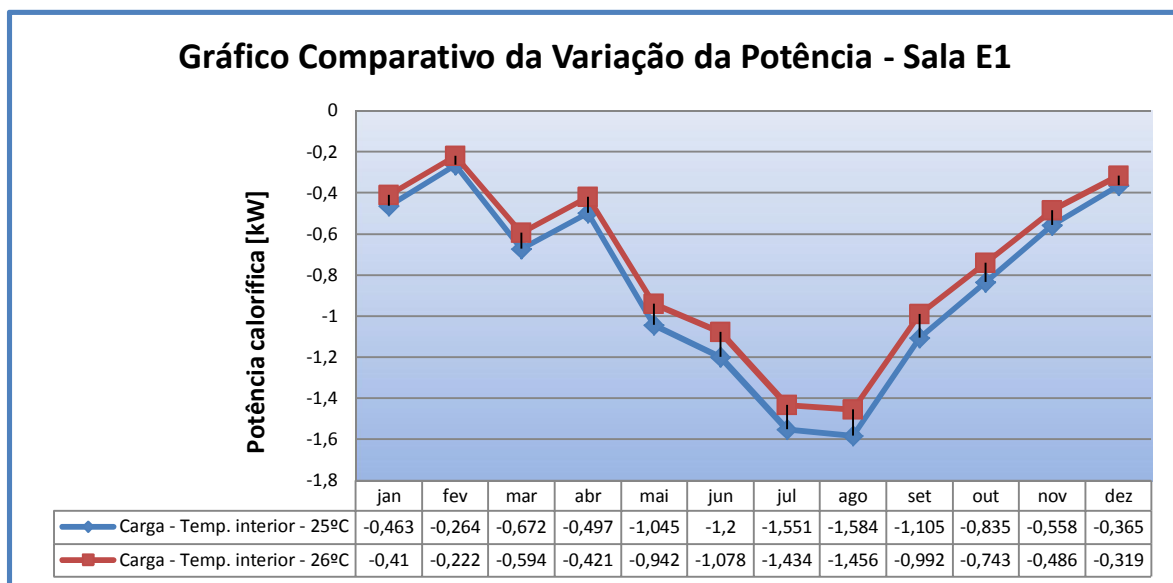


Ilustração 48 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1

3.6 Simulação com 100% da carga ocupacional sem equipamentos e com caudal de ar novo mínimo regulamentar

Nesta simulação pretende-se evidenciar o peso que os equipamentos (computadores portáteis) acarretam no comportamento térmico do espaço. Eliminando os equipamentos manteve-se a taxa de ocupação a 100% e o caudal de ar novo mínimo regulamentar.

Assim sendo, da análise Tabela 27 e em comparação com a Tabela 16 depreende-se um aumento da capacidade do sistema operar em regime de “Free-Cooling”, com significativa expressividade durante o horário nocturno.

Tabela 27 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,358	0,240	-0,274	-0,220	-0,482	-0,463	-0,793	-0,787	-0,498	-0,244	0	0,313
	09:00	0	0	-0,472	-0,419	-0,812	-0,902	-1,355	-1,228	-0,891	-0,517	0	0
	10:00	-0,153	-0,115	-0,666	-0,287	-0,957	-1,073	-1,593	-1,524	-0,987	-0,607	-0,367	-0,151
	11:00	-0,266	-0,186	-0,750	-0,237	-0,999	-1,112	-1,748	-1,660	-0,968	-0,659	-0,562	-0,263
	12:00	-0,418	-0,242	-0,720	-0,174	-0,834	-0,921	-1,572	-1,470	-0,773	-0,581	-0,651	-0,380
	13:00	-0,240	-0,177	-0,513	-0,118	-0,724	-0,827	-1,469	-1,335	-0,803	-0,568	-0,329	-0,173
	14:00	-0,228	-0,150	-0,421	-0,180	-0,938	-1,087	-1,677	-1,634	-1,036	-0,734	-0,148	-0,145
	15:00	-0,350	-0,169	-0,361	-0,262	-0,970	-1,179	-1,752	-1,760	-1,158	-0,767	-0,170	-0,227
	16:00	-0,338	-0,144	-0,228	-0,221	-0,868	-1,127	-1,717	-1,681	-1,126	-0,752	-0,216	-0,165
	17:00	-0,470	-0,163	-0,126	0	-0,384	-0,638	-1,085	-1,008	-0,582	-0,406	-0,524	-0,225
Horário Nocturno	18:00	0	0	-0,201	0	-0,313	-0,516	-0,895	-0,910	-0,529	-0,540	-0,163	0
	19:00	0	0	-0,222	-0,183	-0,588	-0,571	-0,968	-1,207	-0,559	-0,464	0	0
	20:00	0	0	0	0	-0,445	-0,525	-0,810	-1,031	-0,345	-0,094	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	-0,321	-0,565	-0,532	-0,202	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	-0,249	-0,179	0	0	0	0,109
Total Geral		-0,076	-0,046	-0,223	-0,123	-0,442	-0,554	-0,890	-0,863	-0,488	-0,310	-0,136	-0,030

Assim se verifica, de acordo com a Ilustração 49, o aumento do número de horas de “Free-Cooling”, que se traduz num incremento de cerca de 95% para 814 horas de funcionamento.

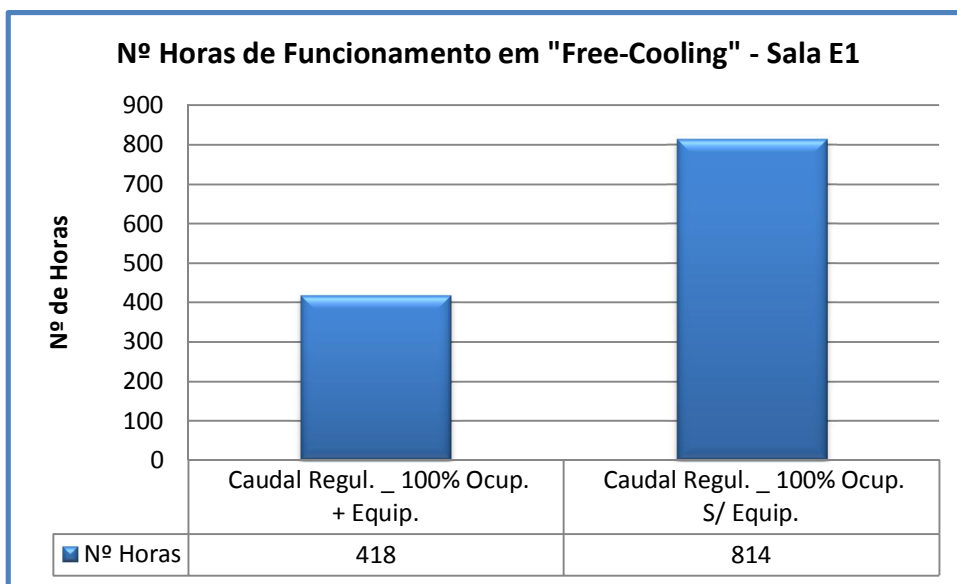


Ilustração 49 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1

Aqui também, no gráfico comparativo, se percebe o peso que os equipamentos acarretam na carga térmica. Verifica-se uma diminuição da carga de arrefecimento superior a 50% ao longo de todo o ano.

Por outro lado, o gráfico demonstra ainda que as necessidades de arrefecimento nesta situação são em tudo semelhantes às necessidades verificadas no cenário correspondente a subcapítulo 3.4.1, como se pode ver na Ilustração 42.

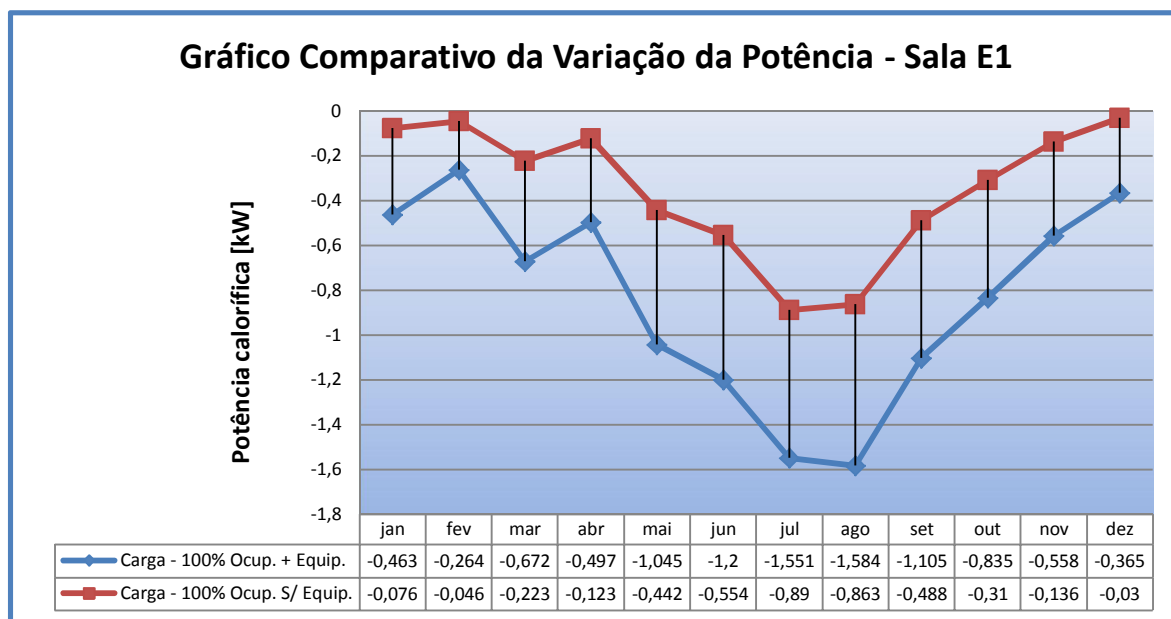


Ilustração 50 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1

Digamos que a carga libertada pela ocupação total é semelhante a carga libertada por 50% da ocupação mais equipamentos. Esta aproximação deve-se ao facto da carga considerada da dissipação do computador portátil (100W) não diferir muito da carga libertada por um ocupante (115W).

3.7 Simulação com 100% da carga ocupacional + equipamento e caudal de ar novo mínimo regulamentar com ventilação nocturna

Esta simulação permite demonstrar qual o impacto que o arrefecimento nocturno tem sobre o comportamento térmico da Sala E1, recorrendo a um caudal de ventilação nocturna correspondente a 30% do caudal mínimo regulamentar imposto para este espaço, durante o período de fecho do edifício, sendo das 23 horas às 7 horas da manhã.

Tabela 28 - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E1, [kW]

	Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,221	0	-0,324	-0,235	-0,516	-0,581	-1,022	-0,981	-0,495	-0,268	0	0,234
	09:00	-0,242	-0,152	-0,811	-0,693	-1,513	-1,690	-2,260	-2,166	-1,581	-0,955	-0,142	0
	10:00	-0,788	-0,396	-1,337	-0,763	-1,858	-2,039	-2,614	-2,617	-1,897	-1,215	-1,044	-0,925
	11:00	-1,002	-0,523	-1,460	-0,819	-1,992	-2,156	-2,827	-2,808	-1,940	-1,431	-1,372	-1,157
	12:00	-1,201	-0,559	-1,393	-0,557	-1,552	-1,684	-2,380	-2,320	-1,498	-1,198	-1,490	-1,132
	13:00	-0,721	-0,367	-0,956	-0,465	-1,399	-1,539	-2,258	-2,152	-1,524	-1,158	-0,740	-0,484
	14:00	-0,640	-0,327	-0,872	-0,794	-1,957	-2,116	-2,764	-2,791	-2,048	-1,632	-0,405	-0,363
	15:00	-0,886	-0,529	-0,974	-0,978	-2,031	-2,270	-2,876	-2,972	-2,235	-1,742	-0,604	-0,474
	16:00	-0,971	-0,538	-0,920	-0,929	-1,904	-2,223	-2,833	-2,891	-2,212	-1,742	-0,878	-0,445
17:00	-1,701	-0,713	-0,617	-0,245	-0,802	-1,160	-1,619	-1,604	-1,095	-0,923	-1,825	-1,096	
Horário Nocturno	18:00	-0,388	-0,151	-0,802	-0,315	-0,804	-1,166	-1,583	-1,703	-1,203	-1,258	-0,532	-0,281
	19:00	0	0	-0,774	-0,701	-1,586	-1,555	-1,997	-2,421	-1,527	-1,387	0	0
	20:00	0	0	-0,170	-0,505	-1,375	-1,544	-1,830	-2,243	-1,262	-0,774	0	0
	21:00	0	0	0	-0,274	-0,698	-1,266	-1,517	-1,560	-1,040	-0,599	0	0
	22:00	0	0	0	0	-0,236	-0,575	-0,842	-0,821	-0,531	-0,242	0	0
Total Geral		-0,346	-0,182	-0,508	-0,372	-0,886	-1,047	-1,405	-1,432	-0,969	-0,720	-0,402	-0,253

Como se pode verificar da Tabela 28 comparativamente à Tabela 16, houve um aumento pouco significativo das horas de "Free-Cooling". Mantendo-se quase inalterada a capacidade em horário nocturno e durante os meses mais frios.

Segundo a Ilustração 51, este aumento traduz-se em cerca de 16% da capacidade inicial, ou seja, de 418 horas iniciais para 484 horas de funcionamento.

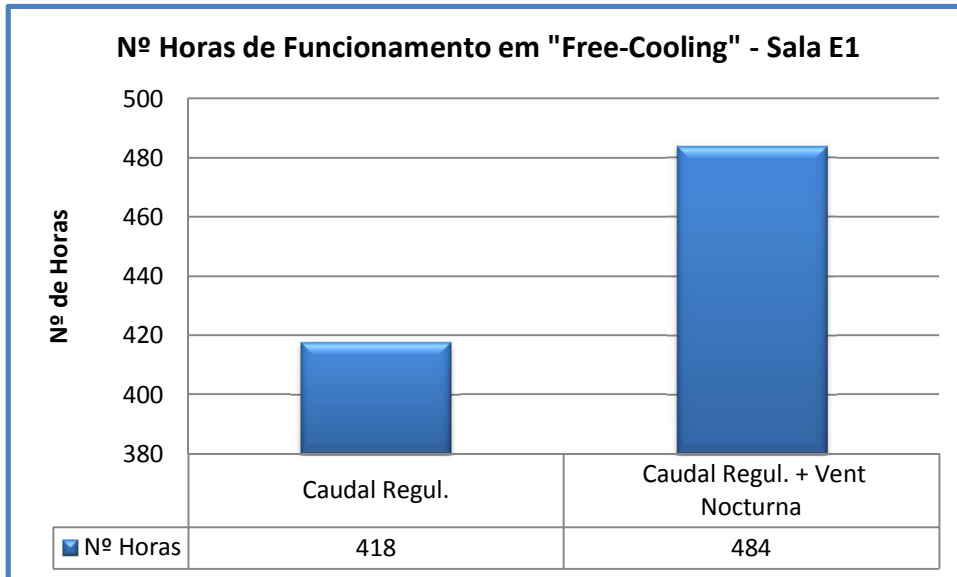


Ilustração 51 - Variação do nº de horas de funcionamento em regime de "Free-Cooling" da Sala E1

Ainda segundo a Ilustração 52, verifica-se que a ventilação nocturna induz numa redução ainda significativa das necessidades de arrefecimento do espaço ao longo de todo o ano.

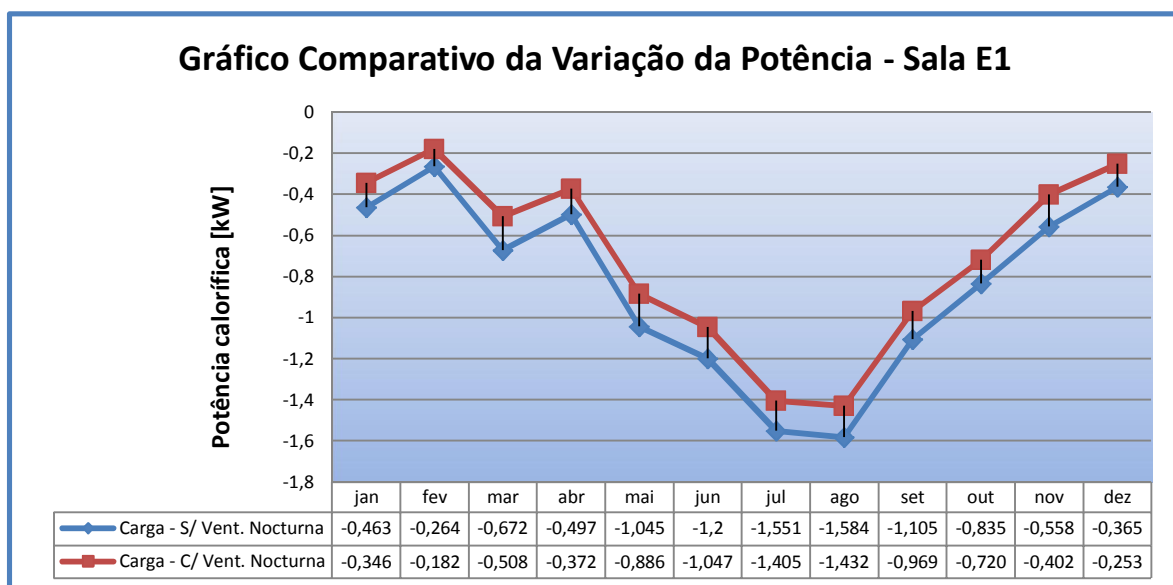


Ilustração 52 - Gráfico comparativo da variação da potência da Sala E1

3.8 Demonstração dos ganhos internos

Aqui são apresentados os dados do relatório de simulação dos ganhos referentes à ocupação, equipamentos e iluminação, de forma a demonstrar o peso que cada qual acarreta nos ganhos referentes ao espaço da Sala E1 anualmente. É de referir que os resultados obtidos das restantes salas de formação do edifício apresentam valores com pesos e percentagens equivalentes a esta última, pelo que não é necessário a apresentação destes.

Na Tabela 29 estão representados os ganhos mensais e a média anual dos ganhos de calor provenientes da ocupação, iluminação e equipamentos da Sala E1.

Tabela 29 - Ganhos de Calor - Sala E1

	Ganhos de Calor – Ocupação [kWh]	Ganhos de Calor – Iluminação [kWh]	Ganhos de Calor – Equipamentos [kWh]
Janeiro	650,3	235,0	587,5
Fevereiro	591,2	213,6	534,1
Março	679,9	245,6	614,2
Abril	591,2	213,6	534,1
Maio	679,9	245,6	614,2
Junho	650,3	235,0	587,5
Julho	620,8	224,3	560,8
Agosto	679,9	245,6	614,2
Setembro	620,8	224,3	560,8
Outubro	650,3	235,0	587,5
Novembro	650,3	235,0	587,5
Dezembro	620,8	224,3	560,8
Média Anual	7 686,3	2 777,3	6 943,3
TOTAL		17 406,9	

As ilustrações seguintes demonstram os ganhos decorrentes da tabela anterior, correspondentes a cada componente geradora de calor:

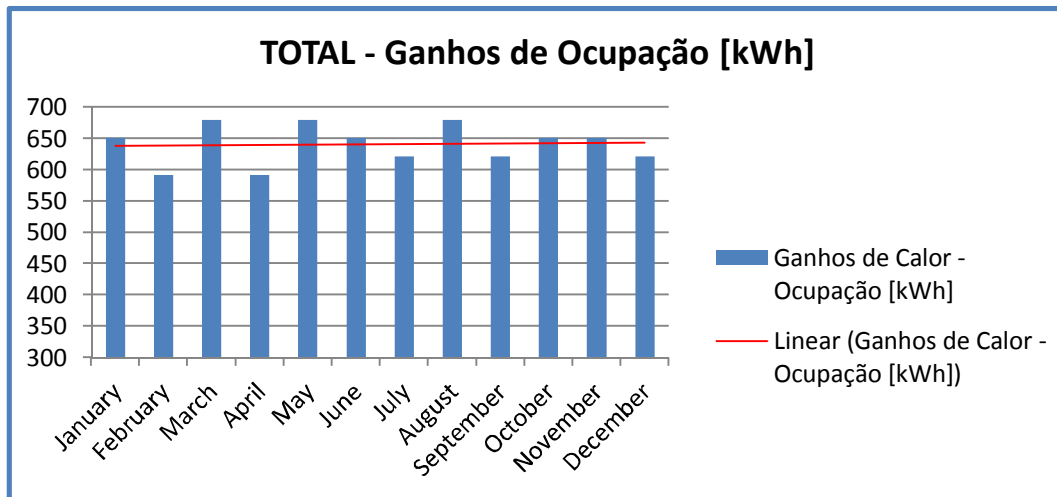


Ilustração 53 - Ganhos por ocupação

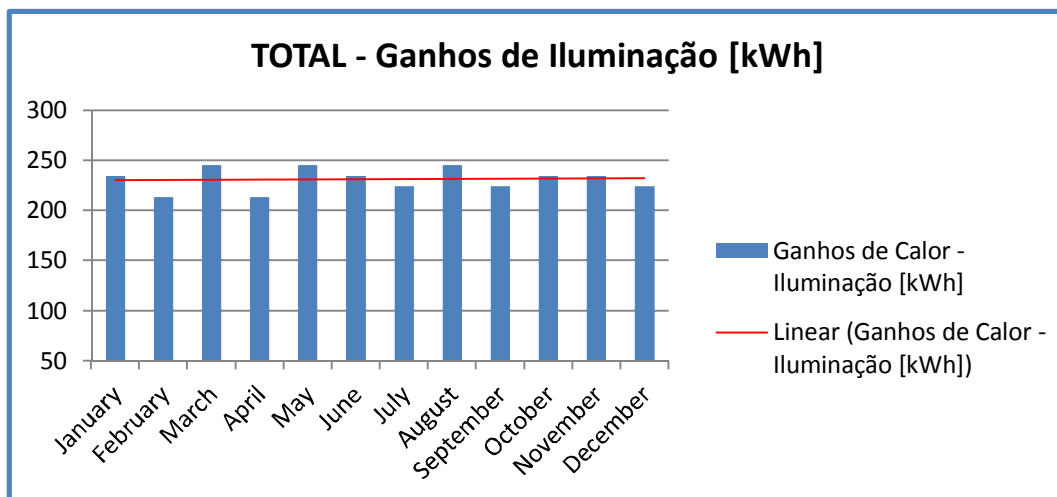


Ilustração 54 - Ganhos por iluminação

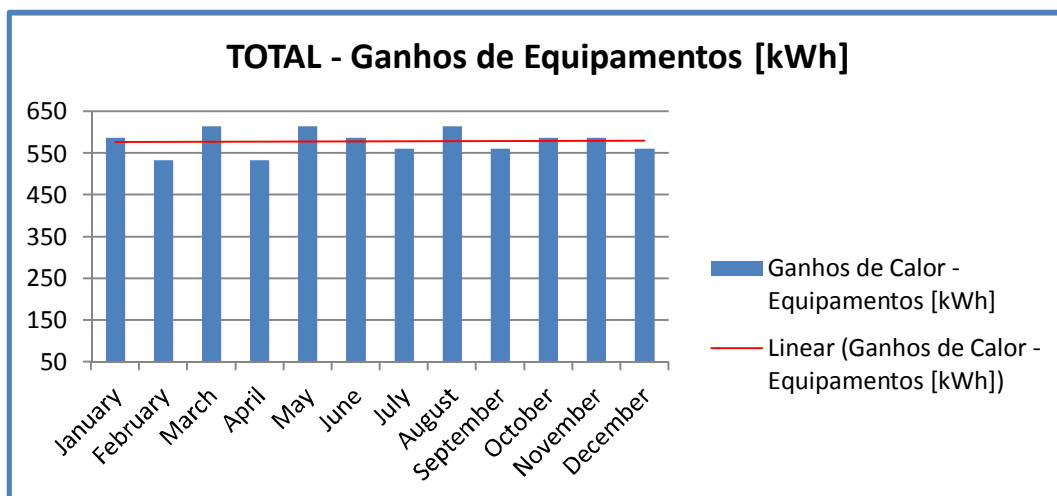


Ilustração 55 - Ganhos por equipamentos

Denota-se nas três componentes ligeiras flutuações nos ganhos ao longo dos meses, justificadas pelo simples facto do número de horas de funcionamento do edifício variar de mês para mês. Mas ambas apresentam linhas de tendência constantes como seria de esperar.

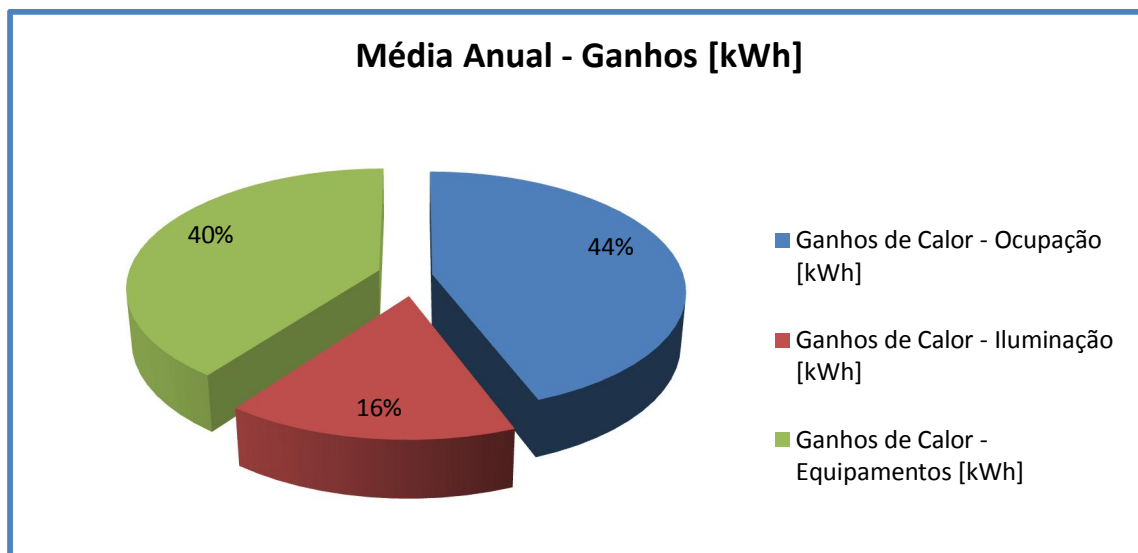


Ilustração 56 - Média anual dos ganhos – Sala E1

A Ilustração 56 referencia a parcela ou o peso que cada componente acarreta nos ganhos de calor referente ao espaço. É bem visível que as maiores fatias cabem à ocupação e aos equipamentos, com 44% e 40% respectivamente, perfazendo um total de 84% do calor gerado. O que demonstra perfeitamente que a ocupação e os equipamentos têm um papel preponderante e semelhante na geração de calor no espaço.

4 Conclusão

Ao longo deste trabalho foram elaboradas diversas simulações dinâmicas com o recurso ao programa *EnergyPlus* integrado no *DesignBuilder*, conjugando variáveis desde as envolventes à própria arquitectura, perfis de utilização ocupacional, equipamentos e taxas de renovação de ar nos diferentes espaços do edifício em estudo.

Objectivando a obtenção de modelos comparativos de forma a promover um estudo aprofundado que permitisse determinar o impacto da influência do ar novo na climatização do edifício, perspectivando a capacidade funcional do sistema funcionar em regime de “Free-Cooling”. Deste modo, a análise e comparação dos dados obtidos permitiram chegar às seguintes conclusões:

- ✓ Verifica-se neste edifício, com esta tipologia e perfil de utilização, que os principais intervenientes geradores de calor nos espaços são a iluminação, os equipamentos e a ocupação, com maior contribuição dos dois últimos. Apesar da tipologia do edifício se tratar de um “Estabelecimento de Ensino”, tal não se comporta verdadeiramente com esta tipologia devido essencialmente à utilização de taxas bem mais elevadas de equipamentos informáticos, pois aqui é atribuído a cada formando um computador portátil, o que leva a um aumento significativo dos ganhos caloríficos internos gerados, ao contrário de um estabelecimento de ensino tradicional. Este perfil de utilização leva a um comportamento térmico bastante invulgar, pois segundo os resultados, verifica-se que o edifício, no seu conjunto e considerando a utilização e ocupação máxima, apresenta necessidades de arrefecimento durante a estação de aquecimento, fruto também de uma construção ao nível do isolamento de elevada qualidade e de uma inércia térmica média, restringindo de certo modo a libertação da carga térmica para o exterior.
- ✓ O “Free-Cooling” diurno revela-se pouco eficaz ou quase nulo para o tipo de clima verificado em Portugal e tendo em conta que as necessidades de arrefecimento são bastante elevadas neste caso particular, não permitindo um diferencial de temperatura suficiente para a remoção das cargas de modo a baixar as temperaturas para o intervalo de conforto.

- ✓ Por outro lado o “Free-Cooling” em horário nocturno ou pós-laboral revela-se bem mais eficiente. Conseguindo-se prestações muito interessantes, sobretudo durante as estações de aquecimento e meia-estação. Podendo-se alcançar taxas de funcionamento em regime de “Free-Cooling” correspondente a 50% das horas uteis de funcionamento do edifício ao ano.
- ✓ A ventilação nocturna, ainda que com baixos débitos de caudal durante os períodos de madrugada e fecho do edifício, contribui para um abaixamento das cargas previamente acumuladas durante o dia nos materiais construtivos do edifício, cargas essas provenientes sobretudo dos ganhos internos e instantâneos (sol) e que são posteriormente restituídas ao espaço com determinado intervalo de tempo. Daí ser aconselhada uma inércia térmica média ou forte de forma a atrasar estas restituições de calor para horas mais tardias. Sendo que este sistema possa promover determinados constrangimentos, deve se ter um especial cuidado para que o edifício não seja sobre arrefecido para não causar desconforto térmico aquando da chegada dos ocupantes de manhã.
- ✓ O aumento do caudal de ar novo insuflado, revela-se pouco eficiente ou limitada no aumento da taxa de funcionamento do sistema em regime de “Free-Cooling”, quando se trata de espaços onde são requeridas necessidades de arrefecimento ao longo de todo o ano. Demonstrando de certo modo que a variável com maior peso contributivo na remoção das cargas continua a ser o diferencial existente entre as temperaturas do ar exterior e interior. E tratando-se de uma variável incontrolável não resta outra solução senão um aumento considerável do caudal insuflado, o que por outro lado pode induzir num desconforto acentuado no que se refere à velocidade do ar no interior do espaço. Para prevenir tal desconforto seria necessário otimizar o sistema e a eficiência de ventilação.
- ✓ Como tal o sistema de climatização será sempre indispensável, devido às cargas internas elevadas, requisitos interiores de temperaturas e humidade. Sendo no entanto o “Free-Cooling” uma opção viável a incorporar na solução de climatização de modo a promover o arrefecimento natural, a redução do consumo geral, e a introdução activa de ar novo nos espaços, desde que a temperatura exterior desce para patamares que possibilite a substituição da climatização com auxílio a máquinas frigoríficas ou activas que agilizem a permuta de calor.

Referências Documentais

- [1] “<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10851>,” [Online].
- [2] “<http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Apresentacao/Scerccteersece/Paginas/default.aspx>,” [Online].
- [3] European Committee for Standardization, EN ISO 7730:2005 - Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD Indices and local thermal comfort criteria, Brussels, 2005.
- [4] “<http://www.designbuilder.co.uk/>,” [Online].
- [5] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 2006.
- [6] L. Roriz, CLIMATIZAÇÃO - CONCEPÇÃO, INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DE SISTEMAS, Amadora: Edições Orion, 2007.
- [7] “<http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=2568>,” [Online].
- [8] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), 2006.
- [9] A. Moret Rodrigues, A. Canha da Piedade e A. M. Braga, TÉRMICA DE EDIFÍCIOS, Amadora: Edições Orion, 2009.

Anexo A. Resultados das simulações efectuadas

I - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala de Estar/Convívio, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,709	1,001	0,212	0	-0,182	-0,267	-0,386	-0,323	-0,224	0	0,113	0,573
	09:00	0,492	0,780	0,094	-0,136	-0,372	-0,437	-0,725	-0,514	-0,402	-0,188	0	0,209
	10:00	0,259	0,236	0	-0,095	-0,476	-0,515	-1,021	-0,742	-0,444	-0,273	0	0,098
	11:00	0,165	0	-0,208	0	-0,580	-0,621	-1,334	-1,019	-0,527	-0,375	0	0,099
	12:00	0	0	-0,324	0	-0,632	-0,696	-1,411	-1,130	-0,543	-0,409	-0,216	0
	13:00	0	0	-0,322	0	-0,676	-0,802	-1,515	-1,255	-0,755	-0,516	-0,167	0
	14:00	0	0	-0,394	-0,111	-1,050	-1,374	-2,058	-1,934	-1,255	-0,827	-0,135	0
	15:00	-0,158	-0,127	-0,454	-0,387	-1,492	-1,968	-2,639	-2,629	-1,811	-1,222	-0,209	-0,161
	16:00	-0,227	-0,107	-0,377	-0,569	-1,752	-2,276	-2,920	-3,024	-2,098	-1,424	-0,269	-0,128
17:00	-0,303	-0,119	-0,170	-0,376	-1,311	-1,970	-2,374	-2,423	-1,552	-1,065	-0,586	-0,183	
Horário Nocturno	18:00	0,116	0	-0,306	-0,309	-1,075	-1,744	-2,034	-2,161	-1,353	-0,823	0	0,241
	19:00	0,238	0	-0,214	-0,315	-1,179	-1,395	-1,753	-2,041	-0,751	-0,339	0	0,277
	20:00	0,254	0	0	0	-0,598	-1,024	-1,315	-1,147	-0,259	0	0	0,265
	21:00	0,362	0,160	0	0	0	-0,358	-0,591	-0,422	-0,098	0	0	0,347
	22:00	0,489	0,250	0	0	0	0	-0,226	-0,107	0	0	0	0,417
Total Geral	0,138	0,116	-0,096	-0,102	-0,499	-0,688	-1,001	-0,921	-0,529	-0,316	-0,054	0,124	

II - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Laboratório 1, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,467	0,798	0	-0,097	-0,388	-0,209	-0,251	-0,263	-0,402	-0,271	0	0,450
	09:00	0,131	0,299	-0,314	-0,354	-0,735	-0,448	-0,647	-0,564	-0,752	-0,648	-0,315	0
	10:00	-0,477	-0,220	-0,774	-0,236	-0,752	-0,516	-0,904	-0,817	-0,712	-0,701	-1,060	-0,717
	11:00	-0,744	-0,336	-0,950	-0,145	-0,770	-0,599	-1,192	-1,055	-0,705	-0,734	-1,244	-0,927
	12:00	-0,997	-0,406	-0,964	-0,109	-0,629	-0,489	-1,106	-0,947	-0,554	-0,628	-1,268	-0,987
	13:00	-0,634	-0,275	-0,665	0	-0,635	-0,494	-1,175	-0,989	-0,679	-0,645	-0,614	-0,456
	14:00	-0,556	-0,232	-0,528	-0,093	-0,939	-0,902	-1,611	-1,530	-1,064	-0,902	-0,264	-0,332
	15:00	-0,713	-0,276	-0,466	-0,182	-0,997	-1,077	-1,752	-1,773	-1,290	-0,992	-0,291	-0,399
	16:00	-0,707	-0,255	-0,308	-0,140	-0,903	-1,073	-1,756	-1,730	-1,308	-1,005	-0,419	-0,252
17:00	-1,031	-0,315	-0,198	0	-0,324	-0,451	-0,890	-0,831	-0,558	-0,517	-1,152	-0,540	
Horário Nocturno	18:00	-0,108	0	-0,260	0	-0,322	-0,401	-0,811	-0,871	-0,601	-0,785	-0,448	0
	19:00	0	0	-0,376	-0,217	-0,774	-0,615	-1,074	-1,454	-0,766	-0,664	0	0
	20:00	0	0	0	-0,131	-0,605	-0,622	-0,961	-1,330	-0,507	-0,199	0	0
	21:00	0	0	0	0	-0,096	-0,414	-0,684	-0,672	-0,323	-0,095	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	-0,266	-0,196	0	0	0	0
Total Geral	-0,227	-0,052	-0,246	-0,068	-0,398	-0,381	-0,677	-0,679	-0,467	-0,390	-0,308	-0,176	

III - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Laboratório 2, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,262	0	-0,708	-0,471	-0,886	-0,967	-1,522	-1,540	-0,907	-0,440	0	0,387
	09:00	-0,279	-0,194	-1,155	-0,802	-1,602	-1,816	-2,544	-2,393	-1,704	-0,965	-0,253	0
	10:00	-0,449	-0,333	-1,484	-0,689	-1,913	-2,121	-2,897	-2,830	-1,936	-1,161	-1,009	-0,541
	11:00	-0,662	-0,457	-1,511	-0,666	-1,999	-2,197	-3,121	-3,026	-1,932	-1,297	-1,300	-0,777
	12:00	-0,936	-0,526	-1,390	-0,455	-1,625	-1,783	-2,753	-2,620	-1,505	-1,137	-1,371	-0,918
	13:00	-0,574	-0,377	-0,990	-0,337	-1,409	-1,564	-2,565	-2,382	-1,518	-1,095	-0,695	-0,429
	14:00	-0,502	-0,314	-0,830	-0,504	-1,805	-2,043	-2,950	-2,904	-1,948	-1,432	-0,329	-0,315
	15:00	-0,671	-0,364	-0,767	-0,676	-1,889	-2,203	-3,066	-3,111	-2,154	-1,549	-0,381	-0,392
	16:00	-0,664	-0,324	-0,599	-0,613	-1,735	-2,129	-3,016	-3,004	-2,107	-1,513	-0,497	-0,227
17:00	-0,990	-0,393	-0,350	-0,167	-0,778	-1,203	-1,878	-1,787	-1,099	-0,806	-1,208	-0,476	
Horário Nocturno	18:00	-0,244	-0,103	-0,497	-0,202	-0,666	-1,068	-1,670	-1,714	-1,057	-1,020	-0,460	0
	19:00	0	0	-0,522	-0,365	-1,182	-1,228	-1,861	-2,228	-1,181	-0,888	0	0
	20:00	0	0	0	-0,221	-0,932	-1,120	-1,615	-2,005	-0,873	-0,381	0	0
	21:00	0	0	0	0	-0,304	-0,830	-1,242	-1,240	-0,613	-0,217	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	-0,295	-0,628	-0,540	-0,235	0	0	0
Total Geral		-0,235	-0,138	-0,468	-0,290	-0,844	-1,043	-1,549	-1,530	-0,921	-0,598	-0,312	-0,150

IV - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Laboratório 3, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,609	0,442	-0,440	-0,353	-0,716	-0,628	-1,034	-1,063	-0,688	-0,353	0	0,664
	09:00	0	0	-0,857	-0,641	-1,204	-1,253	-1,965	-1,762	-1,291	-0,817	-0,145	0
	10:00	-0,428	-0,279	-1,211	-0,420	-1,373	-1,492	-2,323	-2,198	-1,420	-0,939	-0,879	-0,567
	11:00	-0,666	-0,397	-1,277	-0,324	-1,426	-1,572	-2,583	-2,423	-1,402	-1,005	-1,172	-0,774
	12:00	-0,891	-0,454	-1,191	-0,216	-1,174	-1,282	-2,282	-2,098	-1,084	-0,867	-1,223	-0,883
	13:00	-0,524	-0,312	-0,829	-0,138	-1,027	-1,130	-2,153	-1,917	-1,155	-0,847	-0,582	-0,362
	14:00	-0,462	-0,256	-0,665	-0,230	-1,375	-1,585	-2,540	-2,456	-1,548	-1,116	-0,253	-0,273
	15:00	-0,629	-0,285	-0,560	-0,364	-1,439	-1,729	-2,655	-2,665	-1,762	-1,194	-0,278	-0,373
	16:00	-0,606	-0,255	-0,361	-0,293	-1,286	-1,666	-2,606	-2,556	-1,719	-1,164	-0,352	-0,213
17:00	-0,844	-0,296	-0,215	0	-0,522	-0,872	-1,536	-1,427	-0,818	-0,589	-0,932	-0,380	
Horário Nocturno	18:00	0	0	-0,287	-0,104	-0,444	-0,726	-1,307	-1,348	-0,773	-0,827	-0,336	0,227
	19:00	0,094	0	-0,384	-0,261	-0,915	-0,847	-1,477	-1,869	-0,850	-0,647	0	0,184
	20:00	0	0	0	-0,137	-0,662	-0,754	-1,221	-1,590	-0,512	-0,147	0	0,116
	21:00	0,117	0	0	0	0	-0,469	-0,844	-0,773	-0,292	0	0	0,171
	22:00	0,159	0	0	0	0	-0,094	-0,347	-0,237	0	0	0	0,209
Total Geral		-0,148	-0,080	-0,356	-0,165	-0,608	-0,742	-1,239	-1,202	-0,677	-0,447	-0,252	-0,070

V - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E2, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	-0,250	-0,153	-0,640	-0,370	-0,700	-0,560	-0,880	-0,903	-0,702	-0,426	0	0,276
	09:00	-0,299	-0,251	-1,094	-0,691	-1,299	-1,335	-1,875	-1,767	-1,403	-0,926	-0,554	-0,226
	10:00	-0,923	-0,499	-1,402	-0,551	-1,511	-1,612	-2,190	-2,155	-1,538	-1,029	-1,419	-1,172
	11:00	-1,048	-0,544	-1,380	-0,517	-1,576	-1,697	-2,410	-2,341	-1,522	-1,131	-1,485	-1,257
	12:00	-1,157	-0,525	-1,252	-0,356	-1,261	-1,340	-2,079	-1,975	-1,189	-0,973	-1,392	-1,096
	13:00	-0,698	-0,357	-0,871	-0,282	-1,130	-1,212	-1,988	-1,835	-1,246	-0,949	-0,673	-0,481
	14:00	-0,616	-0,303	-0,739	-0,497	-1,585	-1,721	-2,417	-2,411	-1,678	-1,315	-0,316	-0,349
	15:00	-0,787	-0,418	-0,722	-0,657	-1,646	-1,843	-2,511	-2,574	-1,864	-1,422	-0,416	-0,413
	16:00	-0,861	-0,396	-0,635	-0,585	-1,498	-1,795	-2,470	-2,490	-1,838	-1,403	-0,652	-0,353
	17:00	-1,544	-0,559	-0,394	-0,130	-0,596	-0,912	-1,396	-1,360	-0,880	-0,752	-1,671	-0,966
Horário Nocturno	18:00	-0,253	-0,151	-0,699	-0,190	-0,552	-0,862	-1,292	-1,405	-0,949	-1,084	-0,575	-0,150
	19:00	0	0	-0,692	-0,485	-1,260	-1,149	-1,620	-2,055	-1,140	-1,038	0	0
	20:00	0	0	0	-0,263	-0,966	-1,106	-1,414	-1,802	-0,830	-0,391	0	0
	21:00	0	0	0	0	-0,301	-0,816	-1,081	-1,047	-0,616	-0,260	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	-0,260	-0,514	-0,457	-0,237	0	0	0
	Total Geral	-0,343	-0,169	-0,473	-0,271	-0,742	-0,862	-1,241	-1,247	-0,809	-0,588	-0,400	-0,266

VI - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E3, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0	0	-0,831	-0,455	-0,832	-0,829	-1,226	-1,259	-0,888	-0,479	-0,118	0,147
	09:00	-0,429	-0,355	-1,298	-0,925	-1,713	-1,829	-2,348	-2,279	-1,796	-1,129	-0,654	-0,303
	10:00	-0,997	-0,570	-1,659	-0,927	-2,007	-2,136	-2,645	-2,661	-1,987	-1,333	-1,559	-1,248
	11:00	-1,128	-0,637	-1,651	-0,948	-2,061	-2,200	-2,824	-2,810	-1,968	-1,494	-1,674	-1,338
	12:00	-1,282	-0,657	-1,526	-0,653	-1,631	-1,732	-2,417	-2,356	-1,526	-1,261	-1,630	-1,217
	13:00	-0,770	-0,433	-1,067	-0,543	-1,458	-1,560	-2,280	-2,171	-1,540	-1,207	-0,840	-0,532
	14:00	-0,685	-0,387	-0,956	-0,863	-1,968	-2,113	-2,735	-2,761	-2,020	-1,637	-0,466	-0,392
	15:00	-0,904	-0,609	-1,042	-1,040	-2,046	-2,246	-2,836	-2,927	-2,202	-1,762	-0,666	-0,501
	16:00	-1,006	-0,607	-0,987	-0,970	-1,902	-2,188	-2,790	-2,844	-2,169	-1,735	-0,935	-0,472
	17:00	-1,763	-0,794	-0,659	-0,286	-0,828	-1,169	-1,628	-1,611	-1,097	-0,945	-1,905	-1,141
Horário Nocturno	18:00	-0,433	-0,180	-0,865	-0,345	-0,808	-1,156	-1,568	-1,686	-1,190	-1,268	-0,616	-0,295
	19:00	0	0	-0,817	-0,715	-1,569	-1,516	-1,947	-2,362	-1,466	-1,329	0	0
	20:00	0	0	0	-0,510	-1,313	-1,481	-1,769	-2,171	-1,203	-0,727	-0,092	0
	21:00	0	0	0	0	-0,659	-1,216	-1,457	-1,481	-0,981	-0,560	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	-0,537	-0,808	-0,778	-0,493	0	0	0
	Total Geral	-0,408	-0,232	-0,614	-0,450	-0,980	-1,132	-1,493	-1,515	-1,035	-0,766	-0,493	-0,317

VII - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Sala E4, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,483	0,631	0	-0,249	-0,584	-0,485	-0,661	-0,579	-0,618	-0,339	0	0,330
	09:00	0,190	0,167	-0,404	-0,547	-1,119	-1,040	-1,523	-1,270	-1,201	-0,787	-0,135	0
	10:00	-0,347	-0,209	-0,948	-0,386	-1,301	-1,367	-1,953	-1,754	-1,344	-0,888	-0,938	-0,572
	11:00	-0,636	-0,347	-1,134	-0,324	-1,464	-1,583	-2,332	-2,103	-1,441	-1,045	-1,243	-0,895
	12:00	-0,936	-0,429	-1,134	-0,259	-1,306	-1,384	-2,160	-1,941	-1,237	-0,985	-1,336	-0,975
	13:00	-0,577	-0,294	-0,823	-0,245	-1,287	-1,409	-2,243	-1,999	-1,439	-1,076	-0,689	-0,447
	14:00	-0,561	-0,272	-0,762	-0,585	-1,963	-2,194	-2,933	-2,886	-2,144	-1,687	-0,396	-0,361
	15:00	-0,803	-0,426	-0,914	-1,068	-2,404	-2,741	-3,440	-3,523	-2,717	-2,158	-0,662	-0,468
	16:00	-0,904	-0,479	-0,987	-1,242	-2,563	-3,026	-3,693	-3,850	-2,964	-2,344	-1,060	-0,434
	17:00	-1,707	-0,661	-0,693	-0,589	-1,512	-2,135	-2,572	-2,646	-1,865	-1,570	-2,225	-1,173
Horário Nocturno	18:00	-0,268	-0,105	-1,126	-0,639	-1,475	-2,139	-2,471	-2,714	-1,948	-1,663	-0,623	-0,176
	19:00	0	0	-0,862	-0,970	-2,290	-2,324	-2,732	-3,285	-1,749	-1,305	0	0
	20:00	0	0	0	-0,411	-1,568	-2,081	-2,325	-2,418	-1,149	-0,550	0	0
	21:00	0	0	0	-0,126	-0,543	-1,303	-1,526	-1,414	-0,851	-0,371	0	0
	22:00	0	0	0	0	-0,138	-0,494	-0,775	-0,681	-0,376	-0,107	0	0
Total Geral	-0,260	-0,105	-0,424	-0,343	-0,991	-1,193	-1,556	-1,525	-1,059	-0,753	-0,404	-0,220	

VIII - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Balneário Feminino, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	1,157	1,464	0,769	1,190	0,664	0,350	0,195	0,179	0,247	0,780	0,476	1,075
	09:00	0,813	1,382	0,792	0,904	0,416	0	0	0	0	0,572	0,440	0,463
	10:00	0,780	1,232	0,754	0,733	0,250	0	0	0	0	0,395	0,474	0,538
	11:00	0,787	1,075	0,629	0,545	0,131	0	0	0	0	0,210	0,438	0,595
	12:00	0,641	0,886	0,526	0,409	0	0	0	0	0	0,108	0,351	0,681
	13:00	0,669	0,782	0,459	0,276	0	0	0	0	0	0	0,409	0,795
	14:00	0,580	0,649	0,390	0,164	0	0	0	0	0	0	0,398	0,730
	15:00	0,524	0,511	0,316	0,140	0	0	0	0	0	0	0,295	0,638
	16:00	0,531	0,565	0,336	0,139	0	0	0	0	0	0	0,232	0,685
	17:00	0,225	0,497	0,494	0,284	0,106	0	0	0	0	0	0	0,426
Horário Nocturno	18:00	0,944	0,966	0,227	0,340	0,127	0	0	0	0	0	0,527	1,042
	19:00	1,352	1,207	0,628	0,381	0,110	0	0	0	0	0,129	0,889	1,244
	20:00	1,376	1,269	1,059	0,578	0,217	0	0	0	0	0,204	0,951	1,286
	21:00	1,458	1,385	1,220	0,735	0,374	0	0	0	0	0,279	1,054	1,376
	22:00	1,535	1,457	1,336	0,947	0,586	0,153	0	0	0	0,410	1,137	1,432
Total Geral	0,669	0,742	0,500	0,401	0,179	0,058	0,017	0,021	0,031	0,182	0,422	0,643	

IX - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" da Circulação, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0	0	0	0	-0,091	0	-0,111	-0,119	-0,154	0	0	0
	09:00	0	0	0	0	-0,214	-0,156	-0,232	-0,200	-0,268	-0,207	0	0
	10:00	0,140	0,373	0	0	-0,254	-0,153	-0,321	-0,251	-0,227	-0,249	0	0
	11:00	0	0,138	-0,107	0	-0,271	-0,104	-0,460	-0,315	-0,174	-0,291	-0,156	0
	12:00	0	0	-0,161	0	-0,226	0	-0,490	-0,329	-0,136	-0,271	-0,266	0
	13:00	0	0	-0,133	0	-0,244	-0,110	-0,551	-0,380	-0,197	-0,269	-0,148	0
	14:00	0	0	-0,128	0	-0,308	-0,232	-0,712	-0,598	-0,327	-0,312	0	0
	15:00	0	0	-0,122	0	-0,295	-0,307	-0,785	-0,735	-0,431	-0,307	-0,098	0
	16:00	0	0	0	0	-0,254	-0,306	-0,791	-0,710	-0,443	-0,309	-0,107	0
17:00	0	0	0	0	-0,105	-0,137	-0,456	-0,366	-0,198	-0,151	-0,157	0	
Horário Nocturno	18:00	0	0	0	0	-0,110	0	-0,360	-0,319	-0,175	-0,216	0	0
	19:00	0	0,128	0	0	-0,187	-0,097	-0,363	-0,488	-0,166	-0,154	0	0,173
	20:00	0,099	0,115	0	0	-0,129	-0,108	-0,289	-0,380	0	0	0	0,180
	21:00	0,138	0,205	0	0	0	0	-0,161	-0,092	0	0	0	0,228
	22:00	0,184	0,288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,265
Total Geral	0,038	0,077	-0,029	-0,003	-0,114	-0,091	-0,268	-0,235	-0,131	-0,121	-0,046	0,056	

XI - Tabela demonstrativa das horas de "Free-Cooling" do Gabinete, [kW]

	Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horário Diurno	08:00	0,471	0,722	0,146	0	-0,180	-0,180	-0,233	-0,212	-0,194	0	0	0,378
	09:00	0,330	0,561	0	-0,102	-0,305	-0,282	-0,443	-0,324	-0,312	-0,188	0	0,139
	10:00	0,173	0,190	0	0	-0,332	-0,301	-0,599	-0,443	-0,292	-0,232	0	0
	11:00	0,116	0	-0,132	0	-0,367	-0,338	-0,773	-0,589	-0,297	-0,267	0	0
	12:00	0	0	-0,197	0	-0,364	-0,365	-0,812	-0,637	-0,290	-0,255	-0,178	0
	13:00	0	0	-0,171	0	-0,377	-0,409	-0,883	-0,704	-0,413	-0,287	-0,114	0
	14:00	0	0	-0,175	0	-0,550	-0,693	-1,158	-1,058	-0,658	-0,420	0	0
	15:00	0	0	-0,180	-0,111	-0,685	-0,918	-1,376	-1,348	-0,895	-0,546	-0,091	0
	16:00	-0,092	0	-0,117	-0,118	-0,748	-1,030	-1,488	-1,481	-1,006	-0,619	-0,105	0
17:00	-0,115	0	0	0	-0,486	-0,814	-1,135	-1,100	-0,682	-0,431	-0,227	0	
Horário Nocturno	18:00	0,097	0	0	0	-0,406	-0,738	-0,995	-1,038	-0,628	-0,454	0	0,177
	19:00	0,156	0	0	-0,130	-0,533	-0,619	-0,899	-1,069	-0,450	-0,252	0	0,201
	20:00	0,156	0	0	0	-0,336	-0,483	-0,698	-0,763	-0,195	0	0	0,187
	21:00	0,231	0,126	0	0	0	-0,246	-0,409	-0,313	0	0	0	0,242
	22:00	0,316	0,188	0	0	0	0	-0,166	0	0	0	0	0,282
Total Geral	0,106	0,100	-0,038	-0,034	-0,265	-0,355	-0,572	-0,523	-0,297	-0,179	-0,030	0,099	

