



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Influência da estratégia de ventilação no consumo energético de edifícios de serviços com utilização permanente e baixas cargas térmicas

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Luís Miguel da Silva Coelho

Orientador

Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo

Júri

Presidente Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Janeiro, 2013

*“On bended knee is no way to be free.
Lifting up an empty cup, I ask silently
all my destinations will accept the one that’s me.
So I can breathe.”*

Eddie Vedder

Aos meus pais,
António Coelho e Maria Manuela Coelho,
por tudo....

Agradecimentos

Com a realização da dissertação termina uma etapa. A sua conclusão devo-a àqueles que me acompanharam ao longo destes anos e, embora difícil expor em tão poucas linhas a minha eterna gratidão, não quero deixar de os mencionar. Nesta nova etapa que começa parto com a certeza de que todas estas pessoas serão fundamentais para o meu sucesso.

Agradeço a todos os docentes que participaram na minha formação, graças a eles levo a maior das lições académicas, a busca continua pelo conhecimento. Ao Professor Doutor António Raimundo um agradecimento profundo pela orientação, exigência, simpatia e motivação demonstrada ao longo do projeto. Palavra de apreço ao Professor Octávio pela prestabilidade e amizade transmitida.

Ao Alfredo, Maria João, Gonçalo, Júlio, Zé Miguel, João, Bruno, Godinho e Paulinho, à malta de 2005, ao pessoal da casa branca, ao pessoal de química, a todos os meus amigos que fiz ao longo destes anos de Coimbra e que se tornaram amigos para a vida. Aos que já o eram e que desde os primeiros passos me acompanham, Carlos, Igor, Wilson, aos “osFitipaus”.

À Vanda pela presença, carinho e por tudo o que ela significa para mim. Tu tornas tudo mais fácil. Também ao M. Alves, Rosário, Tânia e João um muito obrigado por tudo.

Lembrar toda a minha família pela forma como me educaram, aos meus pais pelo apoio, amor e sacrifício que fizeram para que este objetivo fosse cumprido. Por fim à minha avó Glória pela lição de vida, obrigado vó!

Resumo

Os principais responsáveis pelo consumo de energia em edifícios não residenciais são os equipamentos instalados, a iluminação e o AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). Por sua vez, o consumo de energia pelos sistemas de AVAC depende de uma série de fatores, nomeadamente das características térmicas do edifício em questão, da estratégia de ventilação e da intensidade das cargas térmicas internas, sejam elas originadas pela ocupação, pela iluminação, ou pelos equipamentos, etc.

Pretende-se com este trabalho analisar a relação entre o consumo de energia e a estratégia de renovação de ar dos edifícios de serviços com utilização permanente e baixas cargas térmicas internas. São considerados apenas sistemas de AVAC com capacidade suficiente para manter condições aceitáveis de conforto térmico e de QAI (qualidade do ar interior) e que o edifício possui as características térmicas necessárias para ser considerado como regulamentar no âmbito da legislação nacional.

O rápido aumento do número de lares de terceira idade, que acompanha o aumento da população de idosos, apoia a eleição de um edifício deste tipo. A ocupação permanente e os baixos ganhos térmicos internos, leva a que o consumo relacionado com o AVAC seja também muito influenciado por outros fatores para além da ventilação. Nesse sentido destacam-se a qualidade energética dos próprios equipamentos que asseguram o AVAC, a arquitetura do edifício, as características térmicas e higroscópicas da sua envolvente, a sua inércia térmica e a existência ou não de sistemas que permitem poupanças de energia, como por exemplo a recuperação de calor no ar rejeitado e a possibilidade de *freecooling*.

Para realizar este estudo é utilizado o *software* de simulação energética de edifícios *EnergyPlus*.

Palavras-chave: Estratégias de ventilação de edifícios; Simulação térmica de edifícios; Conforto térmico; Qualidade do ar interior; Edifícios com consumos energéticos reduzidos.

Abstract

The main energy consumers of the non-residential buildings include installed equipments, illumination and HVAC (heating, ventilation and air conditioning). On its turn, the HVAC energy consumption depends on a number of factors, namely the thermal characteristics of its envelope, the ventilation strategy and the existence of internal thermal loads originated by occupancy, by illumination, by equipments, etc.

This work intends the characterization of the energy consumption on a non-residential building and the identification of the best strategies of ventilation that minimizes HVAC energy consumption without compromising the human thermal comfort and de IAQ (indoor air quality). The rapid increase of elderly housing facilities, accompanying the raise of the elderly population, supports the option by a building of this type. Due to its permanent occupation and low thermal internal gains, the HVAC consumption is also great influenced by other factors than the ventilation, like the heat transfer and mass attributes of the building envelope, the thermal inertia, the recovering of heat from rejected air and the use of freecooling. The influence of these parameters is also taken into account for this analysis.

To make this study the building energetic simulation software *EnergyPlus* is used.

Keywords Buildings ventilation strategies; Buildings thermal simulation; Thermal comfort; Indoor air quality; Low energy buildings.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e siglas	ix
Simbologia	ix
Siglas	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Revisão Bibliográfica	4
2. MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1. Ferramentas de Cálculo – Programa <i>EnergyPlus</i>	6
2.2. Parametização do Edifício e dos Seu Sistemas Energéticos	7
2.2.1. Localização e enquadramento climático	7
2.2.2. Descrição do edifício e zonamento	8
2.2.3. Perfis de ocupação e cargas térmicas internas	13
2.2.4. Soluções construtivas	14
2.3. Renovação do Ar no Edifício	17
2.3.1. Requisitos mínimos para garantia da QAI	17
2.3.2. Coeficientes de pressão nas fachadas	19
2.3.3. Infiltrações	22
2.3.4. Estratégias de ventilação	23
2.4. Sistemas de Climatização	24
2.4.1. Sistemas de produção térmica	24
2.4.2. Integração dos subsistemas térmicos com os de ventilação	25
2.4.3. <i>Freecooling</i> e sistemas de recuperação de calor	26
2.5. Sistemas de Águas Quentes Sanitárias	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.1. Renovação de ar com recurso à Ventilação Natural	31
3.2. Renovação de ar por Ventilação Mecânica	34
3.2.1. Sem recurso a sistemas economizadores de energia	34
3.2.2. Com recurso a sistemas de <i>freecooling</i>	35
3.2.3. Com recurso a sistemas de recuperação de calor	36
3.2.4. Com recurso a sistemas de <i>freecooling</i> e de recuperação de calor	36
3.3. Renovação de ar por Ventilação Híbrida	37
3.4. Comparação entre as diferentes estratégias de ventilação	38
4. CONCLUSÕES	46
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXO A – CARATERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	51

A 1 – Alçados e plantas do edifício	51
A 2 – Levantamento/caudais do edifício	56
A 3 – Soluções construtivas.....	61
A 4 – Perfis de ocupação	63
ANEXO B – DADOS CLIMÁTICOS DO LOCAL	66
ANEXO C – NECESSIDADES E CONSUMO.....	68
C 1 - Necessidades Aquecimento/Arrefecimento (Ventilação Natural).....	68
C 2 - Necessidades Aquecimento/Arrefecimento (Ventilação Mecânica)	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Consumos energia total na União Europeia [3].	2
Figura 2.1 – Visualização do edifício (<i>Design Builder</i>).	8
Figura 2.2 – Zonamento referente à Cave (adaptado de [14]).	11
Figura 2.3 – Zonamento referente ao Rés-do-chão (adaptado de [14]).	11
Figura 2.4 – Zonamento referente ao Primeiro andar (adaptado de [14]).	12
Figura 2.5 – Exemplo da circulação do vento em torno do edifício em estudo.	21
Figura 2.6 – Coeficientes de pressão nas fachadas em função do ângulo que a sua normal faz com direção de incidência do vento.	22
Figura 2.7 – Exemplo dos caminhos de escoamento possíveis na situação de ventilação natural de um espaço.	23
Figura 2.8 – Eficiência de um equipamento.	25
Figura 2.9 – Recuperação de calor através de roda entálpica (adaptado de [33]).	27
Figura 2.10 – Recuperação de calor através de fluxo cruzado (adaptado de [33]).	28
Figura 3.1 – Influência da temperatura e da velocidade do vento nas renovações de ar da sala (zona 1.1), para o caso da ventilação natural.	32
Figura 3.2 – Valor médio mensal do rácio entre as renovações de ar previstas para o caso de ventilação natural e o correspondente valor recomendado.	33
Figura 3.3 – Necessidades anuais de energia previstas para as diferentes estratégias de ventilação:	39
Figura 3.4 – Consumo de energia para a ventilação, o aquecimento e o arrefecimento para as diferentes estratégias de renovação do ar interior do edifício:	41
Figura 3.5 – Consumos anuais de energia pelo edifício das diferentes estratégias de ventilação:	44
Figura A.1 – Alçado principal	51
Figura A.2 – Alçado posterior.	52
Figura A.3 – Alçado noroeste.	52
Figura A.4 – Alçado sudoeste.	53
Figura A.5 – Planta do rés-do-chão.	54
Figura A.6 – Planta do 1º andar.	55
Figura A.7 – Perfil de ocupação da sala de refeições.	63
Figura A.8 – Perfil de ocupação da cozinha.	64

Figura A.9 – Perfil de ocupação dos gabinetes.	64
Figura A.10 – Perfil de ocupação dos quartos.	65
Figura B.1 – Dados climatéricos do local.	66
Figura B.2 – Dados climatéricos do local.	66
Figura B.3 – Dados climatéricos do local.	67
Figura B.4 – Dados climatéricos do local.	67
Figura C.1.a – Potência necessária para o aquecimento e arrefecimento do edifício para o caso da ventilação natural.	68
Figura C.1.b – Necessidades mensais para o aquecimento e arrefecimento do edifício para o caso da ventilação natural.	68
Figura C.2 – Necessidades mensais de aquecimento e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica sem economizadores.	69
Figura C.3 – Necessidades mensais de aquecimentos e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição.	69
Figura C.4 – Necessidades mensais de aquecimentos e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica com possibilidade de <i>freecooling</i>	70
Figura C.5 – Necessidades mensais de aquecimento e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica com <i>freecooling</i> e com recuperação de calor.	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Identificação e respetivas áreas e volumes.	12
Tabela 2.2 – Classe de Inércia Térmica Interior [9].	14
Tabela 2.3 – Coeficientes de transmissão térmica de outras soluções construtivas.	15
Tabela 2.4 – Massa térmica de cada elemento e do edifício.	16
Tabela 2.5 – Caudais de ar novo a insuflar em cada zona em que supostamente se dividiu o edifício.	18
Tabela 2.6 – Parâmetros relacionados com o coeficiente de pressão [15].	21
Tabela 2.7 – Zonas onde atuam os economizadores.	29
Tabela 3.1 – Necessidades energéticas para aquecimento arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação natural.	34
Tabela 3.2 – Necessidades energéticas sem recurso a sistemas economizadores.	35
Tabela 3.3 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação mecânica com recurso a sistemas de <i>freecooling</i>	35
Tabela 3.4 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação mecânica com recurso a sistemas recuperação de calor do ar de rejeição.	36
Tabela 3.5 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação mecânica com recurso a sistemas de <i>freecooling</i> e com recuperação de calor.	37
Tabela 3.6 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação híbrida.	38
Tabela 3.7 – Necessidades anuais de energia previstas para as diferentes estratégias de ventilação.	39
Tabela 3.8 – Consumos anuais de energia previstos para as diferentes estratégias de ventilação.	41
Tabela 3.9 – Consumos totais de energia previstos para o edifício.	44
Tabela A.1 – Levantamento e Caudais dos espaços do edifício.	56
Tabela A.2 – Composição das Paredes Exteriores.	61
Tabela A.3 – Composição das Paredes Interiores.	61
Tabela A.4 – Composição do Pavimento em contacto com o solo.	62
Tabela A.5 – Composição do Pavimento Interior e de compartimentação.	62
Tabela A.6 – Composição da Cobertura.	63

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

A – Área [m^2]

A_p – Área útil de pavimento [m^2]

COP – Eficiência nominal de uma máquina frigorífica / bomba de calor em modo de aquecimento (*Coefficient of Performance*)

EER – Eficiência nominal de uma máquina frigorífica / bomba de calor em modo arrefecimento (*Energy Efficiency Ratio*)

E_{final} – Energia final

$E_{útil}$ – Energia útil

C_p – Coeficiente de pressão

C_p – Calor específico [$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$]

G – Factor geométrico

H – Altura da fachada de incidência do vento [m]

L – Largura da fachada de incidência do vento [m]

I_t – Indicador de massa de inércia do edifício [kg/m^2]

m – massa [kg]

m_{pi} – Massa do pano interior ao isolamento térmico [kg]

M_{si} – Massa superficial útil da solução construtiva [kg/m^2]

Q – Energia útil necessária para preparação AQS [kJ/dia] ou [kWh/ano]

Q_A – Caudal de renovação de ar de um espaço [m^3/h]

Q_{AN} – Caudal de ar novo insuflado num espaço [m^3/h]

R – Resistência térmica [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]

R_c – Rácio

$Ren_{previsto}$ – Renovações de ar previstas [rph , renovações por hora]

$Ren_{recomendado}$ – Renovações de ar recomendadas [rph , renovações por hora]

r – Coeficiente de correção da inércia térmica devido ao revestimento interior

RPH_A – Caudal de renovação de ar de um espaço [rph, renovações por hora]
 RPH_{AN} – Caudal de ar novo insuflado num espaço [rph, renovações por hora]
 S_i – Área da superfície interior da solução construtiva [m^2]
 U – Coeficiente de transmissão térmica superficial [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]
 V_H – Velocidade do vento a uma altura H [m/s^2]
 W – Largura da fachada lateral à incidência do vento [m]
 λ – Condutibilidade térmica [$W/(m \cdot ^\circ C)$]
 θ – Ângulo entre a normal à superfície e a incidência do vento [$^\circ$]
 ε_v – Eficiência dos ventiladores
 η – Eficiência
 η_v – Eficiência de ventilação
 η_a – Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS
 ρ – Massa específica [kg/m^3]
 ρ_{ext} – Massa específica do ar exterior [kg/m^3]
 ΔP – Diferença de pressão [N/m^2]
 ΔP_W – Diferença de pressão devido ao vento [N/m^2]
 ΔP_T – Diferença de pressão devido à impulsão térmica [N/m^2]
 ΔP_M – Diferença de pressão devido aos sistemas de ventilação [N/m^2]
 ΔP_C – Diferença de pressão devido a perdas de carga [N/m^2]
 ΔT – Diferença de temperatura [$^\circ C$]

Siglas

ADENE – Agência para a Energia
AQS – Águas quentes sanitárias
AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE – Comissão europeia
CFD – *Computational Fluid Dynamics*
CO₂ – Dióxido de Carbono
DEM – Departamento de Engenharia Mecânica
DL – Decreto de Lei
DOE – *Department of Energy of USA*

(Departamento de energia dos Estados Unidos da América)

EN – *European Norm* (Norma europeia)

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

IM – Instituto de Meteorologia, IP Portugal

INE – Instituto Nacional de Estatística

ISO – International Standards Organization

NP – Norma Portuguesa

PMV – *Predicted Mean Vote* (Voto médio estimado)

PPD – *Percentage of People Dissatisfied*

(Porcentagem de pessoas insatisfeitas)

QAI – Qualidade de Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios, Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética

UAA – Unidade de Arrefecimento de Ar

UE – União Europeia

UPAR – Unidade Produtora de Água Refrigeradora

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

XPS – Poliestireno expandido extrudido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A crescente dependência da energia por parte do Homem, associada à diminuição da disponibilidade de combustíveis fósseis e ao aumento exponencial do preço de compra de energia leva a que seja de elevada importância o desenvolvimento de sistemas que permitam um uso racional e eficaz da energia. Entre os grandes consumidores de energia incluem-se os edifícios de serviços. Acresce que para garantir uma adequada QAI (qualidade do ar interior), deve existir, nestes edifícios, uma apropriada renovação do ar dos seus espaços. Deste modo é altamente recomendado que estes edifícios sejam equipados com sistemas de ventilação e de climatização de elevada eficiência energética.

Com o objetivo de cumprir compromissos ambientais, nomeadamente os assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto, e de diminuir a dependência da UE (União Europeia) face ao exterior, a CE (Comissão Europeia) estabeleceu como alvo reduzir as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) em 30% até ao ano de 2020. Neste sentido foram introduzidas metas, como a do aumento da eficiência no uso de energia em 20% [1; 2], sendo da responsabilidade de cada país estabelecer um plano e fazê-lo cumprir para que tal meta seja alcançada.

É sabido que devido ao modo de vida que a sociedade atual apresenta o consumo de energia nos edifícios é cada vez maior, isto porque cada vez mais tempo é passado no seu interior. A título de exemplo podemos observar na Figura 1.1 que dentro dos principais sectores consumidores de energia na UE se destacam os edifícios destinados a serviços e as residências. Em Portugal os edifícios são responsáveis por aproximadamente 30% do consumo total de energia [3].

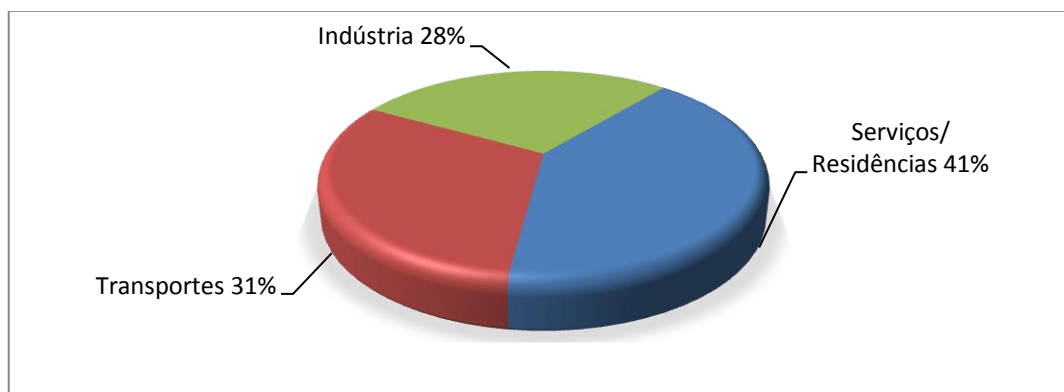


Figura 1.1 – Consumos energia total na União Europeia [3].

Os principais consumidores de energia nos edifícios de serviços são os equipamentos instalados, a iluminação e o AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). O valor deste último depende da utilização do edifício e das cargas térmicas indesejáveis, as quais podem ter origem nos ocupantes, na iluminação, nos equipamentos e nas trocas de calor e massa através da envolvente.

As estratégias recomendadas para a minimização do consumo energético com o AVAC dos edifícios de serviços variam com o tipo de utilização, com as cargas térmicas internas e com o sistema de ventilação utilizado. De modo a sistematizar a análise é apropriado repartir estes edifícios (ou zonas dos mesmos) pelos seguintes tipos: (i) com cargas térmicas internas baixas e utilização permanente (lares de 3ª idade, hotéis, hospitais, etc.); (ii) com cargas térmicas internas baixas e utilização intermitente (repartições públicas, zonas de gabinete e de secretaria das escolas, etc.); (iii) com cargas térmicas internas elevadas e utilização permanente (*call centers* / centrais de atendimento, zonas de imageologia e radiologia dos hospitais, etc.); (iv) com cargas térmicas internas elevadas e utilização intermitente (supermercados, centros comerciais, salas de aula, etc.); e (v) com tanques de água quente (piscinas, etc.).

Assume-se como alternativas para a renovação de ar interior a ventilação puramente mecânica e a ventilação híbrida controlada (ventilação mecânica em conjunto com ventilação natural por grelhas fixas, auto-reguláveis ou motorizadas). Por não assegurar uma correta hierarquia de pressões entre os vários espaços e, deste modo, não garantir uma adequada QAI, não se considera como viável a ventilação do edifício apenas por natural pura.

Tratando-se de um assunto demasiado vasto para ser efetuado no âmbito de uma única tese de mestrado, este trabalho será dedicado apenas aos “edifícios de serviços com cargas térmicas internas baixas e utilização permanente”. Mais especificamente, pretende-se analisar o comportamento energético do funcionamento de um lar de terceira idade e a sua relação com a estratégia de ventilação utilizada. Esta tipologia de uso de edifícios tem cada vez mais importância na sociedade, pois, em termos relativos, a população tende a tornar-se cada vez mais idosa. De acordo com as últimas projeções do Instituto Nacional de Estatística (INE) [4], estima-se que cerca da 14% da população europeia tenha uma idade superior aos 65 anos, sendo que em Portugal se aproxima dos 17,4% (em 2008) e que no ano de 2060 atingirá um total de 32,3% de idosos. Face a isto, o número de lares destinados ao acolhimento permanente de idosos, sendo já significativo no nosso país, tenderá a aumentar [5].

1.2. Objetivos

Pretende-se com este trabalho identificar as estratégias mais recomendadas para minimizar os consumos de energia necessários para manter boas condições de conforto térmico e de QAI em lares de terceira idade localizados em regiões de clima moderado. Para este tipo de uso dos edifícios e considerando inalteráveis a arquitetura e as soluções construtivas termicamente passivas, será analisada a influência de parâmetros identificados como relevantes, nomeadamente o recurso ao arrefecimento gratuito (*freecooling*) e o uso de sistemas que permitem a recuperação de calor do ar rejeitado.

Para uma obtenção de resultados com algum rigor é utilizado um programa de simulação do comportamento energético de edifícios. Trata-se do conhecido programa *EnergyPlus*, o qual é vocacionado para a modelização e parametrização do edifício quer em termos de soluções construtivas e de arquitetura quer em termos de sistemas de iluminação, arrefecimento, aquecimento, ventilação, perfis de utilização, entre outros.

Realça-se que Portugal adotou um conjunto de legislação que procura cumprir os objetivos propostos pela UE no que refere aos consumos e ao desempenho energético dos edifícios. Para o efeito transpôs para a legislação nacional os pressupostos, os objetivos e os requisitos da Diretiva 2002/91 (EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*)

[6]. Desta transposição resultaram os Decretos-Lei 78, 79 e 80 de 2006, que correspondem, respetivamente, à implementação do SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios) [7], do RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios) [8] e do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios) [9].

1.3. Revisão Bibliográfica

Da pesquisa bibliográfica efetuada ressalta que os assuntos aqui tratados são de extrema utilidade quando o objetivo passa pela minimização de consumos energéticos em edifícios. As estratégias de ventilação mais analisadas enquadram-se dentro da classificação como puramente mecânica, puramente natural e híbrida, entendendo-se como ventilação híbrida aquela em que existem em simultâneo espaços em que a renovação do ar é assegurada por dispositivos mecânicos e outros em que se usam apenas meios passivos. Boa parte das publicações consultadas estuda em separado o benefício do recurso ao *freecooling* e à recuperação de calor do ar de rejeição.

Como textos de apoio sobre boas práticas e sobre como aplicar os requisitos da legislação portuguesa sobre o assunto em estudo recorreu-se aos apontamentos dos Cursos SCE do DEM-FCTUC [10; 11].

Em Pérez-Lombard *et al.* (2008) [12] destaca-se a importância dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) como responsáveis por 50% do consumo geral nos edifícios dos países desenvolvidos. Por sua vez Esteves *et al.* (2011) [5] fala-nos da importância de e como economizar os consumos de energia em lares de terceira idade e em edifícios com tipologias de uso similar.

Com base nos resultados experimentais de Geros *et al.* (1999) [13] relacionaram a poupança energética conseguida com sistemas de *freecooling* com diferentes características do edifício, como a arquitetura, tipo de ventilação e condições climáticas, tendo concluído que quanto mais baixo a temperatura no exterior e quanto maior a inércia do edifício, maior a eficiência do *freecooling*. Para edifícios com duas tipologias de uso diferentes com a sua renovação de ar a ser assegurada por sistemas de ventilação mecânica, Mateus [14] analisou a influência da inércia térmica no desempenho

de sistemas de *freecooling* e de recuperação do calor contido no ar de rejeição. Constatou que ambos os sistemas têm uma contribuição positiva para o desempenho energético dos edifícios. Concluiu ainda que a eficiência do *freecooling* aumenta significativamente com a inércia do edifício e que, por sua vez, a recuperação de calor do ar de rejeição é mais dependente da tipologia de uso do que da inércia.

Raimundo e Cardoso [15] e Ponte [16] estudaram a viabilidade da utilização da ventilação híbrida na renovação do ar do interior de edifícios não residenciais com ocupação permanente, tendo concluído que a renovação de ar promovida por este método de ventilação depende muito de condições climatéricas.

Silva [17] analisou a influência sobre o conforto térmico e a QAI de vários parâmetros relacionados com a ventilação de um edifício escolar e qual a sua influência nos consumos energéticos. Concluiu que a ventilação noturna (*freecooling*) melhora os índices de conforto térmico mas à custa de um ligeiro aumento dos consumos energéticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Ferramentas de Cálculo – Programa *EnergyPlus*

O uso de *softwares* de simulação dinâmica tornam-se uma mais-valia quando se procura chegar aos melhores resultados possíveis em termos energéticos pois a sua utilização possibilita, ainda numa fase inicial, testar vários tipos de sistemas, promover novas estratégias e selecionar as soluções construtivas adequadas. Sabendo que nos dias que correm o tempo é sinónimo de dinheiro, e uma vez que esta ferramenta reduz bastante o tempo de estudo, é caso para dizer que a poupança económica também é um fator importante que conta a favor dos *softwares* de simulação.

O *EnergyPlus* [18] é o *software* utilizado para a obtenção dos consumos energéticos do edifício em estudo. Trata-se de um programa de simulação dinâmica de edifícios que cumpre os requisitos requeridos pelo RSECE [8], que impõe que essas simulações sejam feitas por programas acreditados pela Norma ASHRAE 140-2004 [19]. O *EnergyPlus* é uma ferramenta de uso gratuito e foi desenvolvida pelo DOE (Departamento de Energia dos Estados Unidos da América) em conjunto com uma série de investigadores especializados nos mais diversos ramos como engenheiros e arquitetos. O que o evidencia dos outros *softwares* é o seu rigor na modelação da geometria do edifício (incluindo edifícios adjacentes), sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) pela possibilidade de integração de modelos e pela grande quantidade de parâmetros disponibilizados que facilitam os estudos de otimização energética.

Na realização deste trabalho recorreu-se também a uma interface gráfica designada de *DesignBuilder* que foi desenvolvida especialmente para o *EnergyPlus* e que permite uma modelação 3D do edifício em estudo e torna mais simples a introdução dos mais diversos dados, como por exemplo, relativos aos materiais utilizados na construção, através de uma base de dados de materiais, e de perfis de utilização, tal como facilita a visualização de sombreamentos, entre outros.

2.2. Parametrização do Edifício e dos Seu Sistemas Energéticos

O edifício que vai ser objeto de estudo tem uma área útil de pavimento superior a 1000 m² e está equipado com sistemas de climatização de potência térmica instalada superior a 25 kW. Deste modo é abrangido pelo RSECE [8], onde é enquadrado como um GES (Grande Edifício de Serviços). A aplicação do RSECE [8] tem como objetivo definir requisitos mínimos em termos de condições de conforto térmico, QAI e de higiene dos diferentes espaços do edifício em função do tipo de utilização, melhorar a eficiência energética dos edifícios, quer a nível de climatização quer a nível de todos os equipamentos utilizados no seu interior e monitorizar com regularidade os sistemas e equipamentos, fazendo a manutenção dos mesmos, de modo a garantir uma longa vida do edifício.

2.2.1. Localização e enquadramento climático

O clima do local de implantação de um edifício é um dos parâmetros com mais influência no comportamento energético do mesmo, nomeadamente em termos de consumos com a climatização. As condições ambientais exteriores, por exemplo, de uma zona suburbana para uma zona rural estão sujeitas a diferentes parâmetros meteorológicos, nomeadamente humidade relativa, pressão, temperaturas exteriores, velocidade e orientações de vento. A orientação do edifício ganha igualmente relevo, isto é, um edifício que possua uma grande fachada orientada a Sul, onde a incidência de radiação solar é maior e por consequência maiores ganhos solares, terá, um comportamento térmico diferente de um edifício onde a sua maior fachada esteja orientado a Norte, onde os ganhos solares são pouco relevantes.

O lar de terceira idade alvo de estudo localiza-se numa zona suburbana de Coimbra a uma altitude de 152 metros, que, segundo o RCCTE [9] é uma região de clima moderado (zona climática de Inverno II e Verão V2), correspondendo, dentro do clima de Portugal, a um inverno suave e a um verão médio. De acordo com o IM (Instituto de Meteorologia de Portugal) [20] a temperatura exterior média anual é de 16 °C, o vento é moderado e de rumo predominantemente Noroeste.

Para efeitos de simulação recorreu-se à base de dados climáticos incluída no próprio *software* [18] para a região de Coimbra.

2.2.2. Descrição do edifício e zonamento

2.2.2.1. Descrição geral do edifício

O edifício, destinado ao cuidado de pessoas de terceira idade tem uma forma de L, tendo um área total de pavimento de 1 423 m² e um pé-direito médio de 3 m. É composto por três pisos, uma Cave, um Rés-do-Chão e um Primeiro andar. A fachada principal está orientada a Sudoeste, tal como podemos verificar na Figura 2.1 (sombreamentos referentes às 15h do dia 15 de Julho). De referir a existência de árvores de folha caduca (não visíveis na Figura 2.1) à frente da fachada principal (a Sudoeste) e na fachada Sudeste que provocarão sombreamento no Verão. No Inverno, devido a falta de folhas permitirão a passagem de luz solar. Devido à altura prevista para árvores, o seu efeito só se fará sentir ao nível do rés-do-chão. Por sua vez as fachadas Noroeste e Nordeste terão, na sua totalidade, sombreamentos provocados por uma colina.

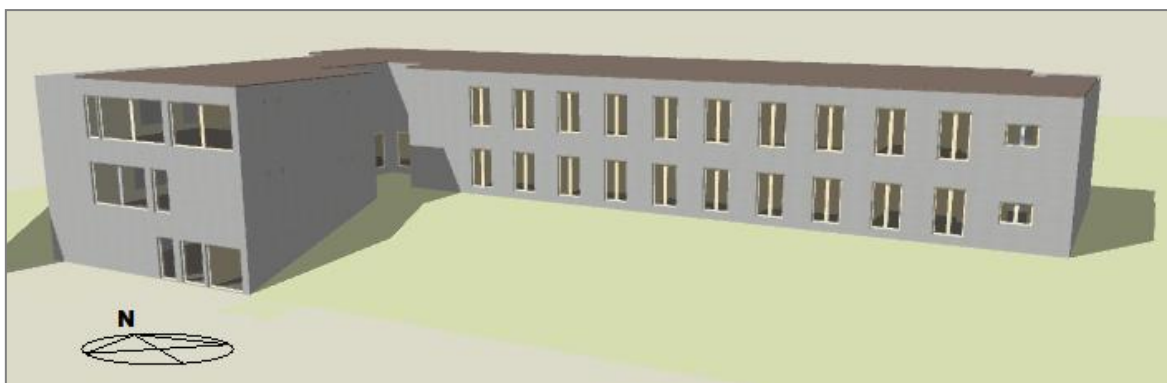


Figura 2.1 – Visualização do edifício (*Design Builder*).

O edifício está preparado para acolher 36 pessoas, sendo que é possível albergar até uma quantidade máxima de 28 pessoas acamadas. Desfruta de 8 quartos simples e 10 quartos duplos distribuídos pelos pisos rés-do-chão e primeiro andar.

É na cave que se depara com os espaços destinados a funções técnicas. Dentro dessas zonas técnicas encontramos a sala de máquinas, arrecadações e armazéns de roupa suja e limpa. Tem como área de pavimento cerca de 183 m² e não será climatizada. As

fachadas Noroeste e Nordeste têm a particularidade de se encontrarem soterradas e a fachada Sudeste parcialmente soterrada.

O rés-do-chão tem uma área de pavimento de 628,5 m², de onde 40 m², referentes à cozinha, não são climatizados. Neste piso encontram-se zonas com finalidades bastante diferentes uma das outras, existindo 4 quartos simples com instalações sanitárias (IS) privadas, 5 quartos duplos também com IS privada, salas de estar, sala do pessoal com duas IS privadas, uma cozinha com copa, uma sala de refeições, dois gabinetes, instalações sanitárias destinadas ao uso geral, balneários, zona destinada à entrada e à circulação e uma zona de arrumos.

Como piso mais elevado temos o primeiro andar onde, exceto os 16 m² destinados a arrumos, os restantes 599,6 m² são climatizados. Este piso é constituído pelo mesmo número de quartos simples e duplos que o rés-do-chão, 4 e 5 respetivamente e que possuem igual número de IS privadas. É ainda formado por uma sala de reuniões, uma sala de estar, dois gabinetes, corredores, arrumos, IS e balneários.

2.2.2.2. Zonamento do edifício

Para uma simulação se desenrolar da melhor forma não é recomendado fazê-lo para todos os espaços do edifício em simultâneo, pois o tempo requerido para a introdução de dados aumentaria substancialmente e a quantidade de resultados obtida iria dificultar a sua análise. Torna-se assim recomendado efetuar um zonamento do edifício, que não é mais do que procurar agrupar numa única zona os espaços com características semelhantes, quer em termos de utilização, exposição solar, iluminação, etc., e os levam a ter comportamentos térmicos análogos. Resumindo o zonamento do lar de terceira idade exige ser efetuado com a máxima prudência, uma vez que a qualidade dos resultados das simulações depende fortemente deste processo.

O zonamento assumido para o edifício em apreço encontra-se representado nas Figuras 2.2 a 2.4, respetivamente, o da cave (Figura 2.2), o do rés-do-chão (Figura 2.3) e do primeiro andar (Figura 2.4).

A cave, como todos os espaços não são climatizados e têm um comportamento idêntico, será uma só zona e tomará a referência -1.1.

O rés-do-chão é decomposto em 10 zonas e serão referenciadas como 0.1 a 0.10. A zona 0.1 é relativa a uma sala de estar que terá uma fachada exterior voltada a Sudoeste, a zona 0.2 é um quarto simples que possui duas fachadas exteriores, uma voltada a Sudeste e outra a Nordeste, a zona 0.3 diz respeito a um conjunto de quartos que estão orientados a Noroeste, a zona 0.4 corresponde a uma zona de corredor que interliga os quartos e tem a particularidade de ter fachadas orientadas nas quatro direções dos pontos cardeais sendo que a fachada voltada a Sudeste será a maior, a zona 0.5, à semelhança da zona 0.3, é composta por outro agrupado de quartos com fachada exterior direcionada a Sudoeste. A zona 0.6 trata-se de um gabinete de saúde e uma sala para o pessoal com fachada orientada a Nordeste, a zona 0.7 é constituída por um balneário orientado quer a Noroeste quer a Nordeste, a zona 0.8 é a cozinha que é voltada a Noroeste mas que tem uma pequena fachada exterior na direção Sudoeste, a zona 0.9 é formada por uma sala de estar de grande dimensões, também com a finalidade de sala de refeições, em que as suas fachadas estão orientadas a Sudeste, Sudoeste e a Noroeste e por ultimo uma zona 0.10 referente à entrada no edifício e à circulação de acesso a diferentes zonas.

No primeiro piso, devido a alguma semelhança com o rés-do-chão procurou-se adotar uma numeração das zonas idêntica. Foi repartido igualmente em 10 zonas, tomando, cada zona de 1 a 10, como referência 1.1 a 1.10. A zona 1.1 é idêntica à 0.1, tal como as zonas 1.2, 1.3, 1.4 e 1.5 se assemelham as zonas 0.2, 0.3, 0.4 e 0.5 respetivamente. A zona 1.6 é constituída por uma sala destinada a arrumos, em que a sua fachada exterior está orientada a Nordeste, a zona 1.7 é formada por dois gabinetes e uma sala de reuniões orientados a Nordeste, Noroeste e a Sudoeste, a zona 1.8 é referente a instalações sanitárias e uma salas de arrumos viradas a Noroeste e por fim, de forma análoga às zonas 0.9 e 0.10 temos as zonas 1.9 e 1.10.

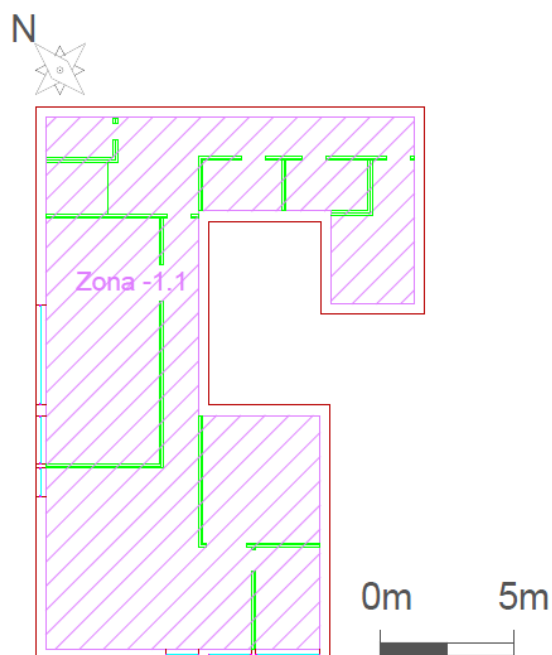


Figura 2.2 – Zonamento referente à Cave (adaptado de [14])

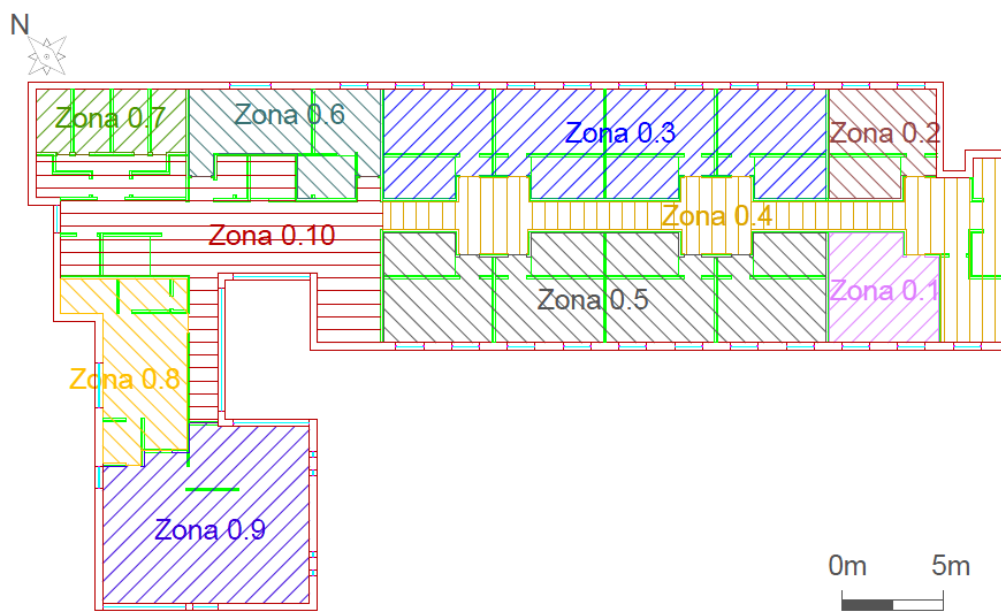


Figura 2.3 – Zonamento referente ao Rés-do-chão (adaptado de [14]).

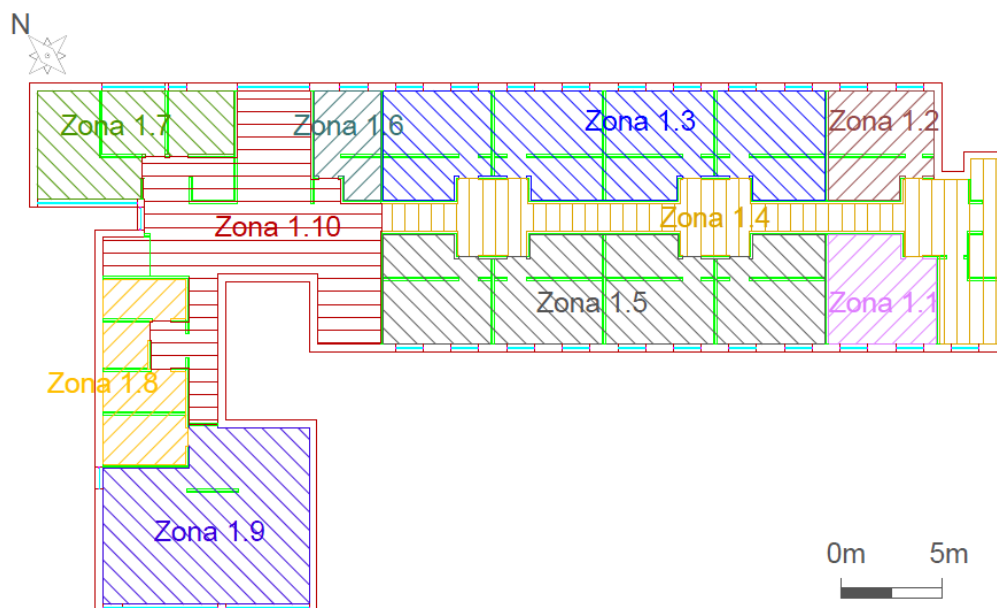


Figura 2.4 – Zonamento referente ao Primeiro andar (adaptado de [14])

É possível com recurso à Tabela 2.1 verificar as respetivas áreas e volumes das diversas zonas. Descrição pormenorizada das zonas pode ser encontrada na Tabela A.1.

Tabela 2.1 – Identificação e respetivas áreas e volumes.

ID	Área [m ²]	Volume [m ³]
-1.1	183,11	549,33
0.1	27,00	81,00
0.2	25,73	77,19
0.3	103,20	309,6
0.4	84,32	252,96
0.5	104,32	312,96
0.6	37,77	113,31
0.7	21,92	65,76
0.8	40,00	120,00
0.9	82,24	246,72
0.10	102,00	306,00
1.1	27,00	81,00
1.2	25,73	77,19
1.3	103,20	309,6
1.4	84,32	252,96
1.5	104,32	312,96
1.6	15,71	47,13
1.7	40,85	122,55
1.8	31,57	94,71
1.9	80,70	242,1
1.10	102,21	306,63

2.2.3. Perfis de ocupação e cargas térmicas internas

As cargas térmicas de um edifício são marcantes no que diz respeito a alteração, para lá do desejável, das condições de temperatura e humidade interiores. Segundo Roriz [21] os diferentes tipos de cargas térmicas têm origem na radiação solar, nas diferenças de humidade e nas trocas de calor entre a envolvente exterior e o interior (condições climáticas) e na utilização e condições de funcionamento do edifício.

Todos os edifícios têm os seus ganhos térmicos internos, sejam eles provenientes da iluminação, dos equipamentos utilizados ou das pessoas, devido ao seu metabolismo. A intensidade das cargas térmicas internas é um fator relevante no comportamento térmico do espaço em questão. Podem provocar um aumento de temperatura tão elevado que seja necessário proceder ao arrefecimento dessa divisão mesmo na estação de aquecimento (Inverno).

Com base em perfis de ocupação e sabendo as características dos equipamentos e quando são utilizados, do tipo de atividade praticado pelos ocupantes e a iluminação utilizada é possível ao *software* utilizado calcular as cargas internas existentes no edifício em questão. Estes perfis que traduzem o funcionamento e quantificam a utilização dos parâmetros acima descritos foram especificados com base nos padrões de funcionamento especificados no RSECE [8] e apresentam-se em detalhe no anexo A.4. Foi sentida a necessidade de adaptar alguns perfis à tipologia de determinados espaços, nomeadamente os quartos destinados a pessoas acamadas.

Para especificar as densidades de iluminação seguiram-se as sugestões constantes nos apontamentos do Módulo técnico de RSECE-Energia ministrado no DEM-FCTUC [11], tendo-se optado por:

- 7 W/m² nos gabinetes, salas e quartos;
- 5 W/m² nas circulações, IS, balneários;
- 3 W/m² arrumos.

Relativamente as densidades dos equipamentos (não incluindo os de climatização e de ventilação) foram escolhidas as seguintes:

- 10 W/m² na sala de reunião e gabinetes;
- 250 W/m² na cozinha;
- 5 W/m² nos restantes.

2.2.4. Soluções construtivas

Neste trabalho optou-se para o lar de idosos por soluções construtivas que já foram alvo de estudo em dissertações anteriores em que tinham o mesmo edifício como base de investigação [14, 16, 22]. Dentro das diferentes hipóteses foi selecionada uma que permite ao edifício ter uma classe de inércia térmica interior Forte, de acordo com o RCCTE [9] e que se adequa bem com a realidade das construções em Portugal. Segundo este regulamento a classe de inércia é especificada a partir do indicador de massa de inércia do edifício (I_t) de acordo com as divisões presentes na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classe de Inércia Térmica Interior [9].

Classe de Inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (kg/m ²)
Fraca.....	$I_t < 150$
Média.....	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte.....	$I_t > 400$

A constituição das paredes exteriores e interiores, do pavimento em contacto com o solo, da cobertura exterior e do pavimento que divide os diferentes pisos pode ser consultada de seguida tendo a atenção que os vários elementos se encontram especificados do interior para o exterior. É de salientar que foram selecionados materiais de fácil acesso e que por norma são já muito comuns nas nossas construções.

- Parede exterior de 38 cm, composta por 2 cm de reboco, tijolo furado de 20 cm, 1 cm de caixa-de-ar, 4 cm de isolamento XPS, tijolo furado de 9 cm e 2 cm de argamassa de cal de areia resultando assim num coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de 0,49 W/(m².°C).
- Parede interior de 16 cm, formada por 1 cm de gesso cartonado de ambos os lados, tijolo furado de 11 cm e 3 cm de lã de rocha servindo de isolamento, proporcionando no total um $U = 0,74$ W/(m².°C).
- Pavimento contacto com o solo com 38 cm constituída por 2 cm de reboco, laje de betão armado de 28 cm, 4 cm de XPS, 3 cm de betonilha

e 1 cm de mosaico cerâmico, composição originando um $U_{ascendente} = 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{descendente} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Cobertura exterior com espessura de 38 cm composta por 5 cm de seixo, 3 cm de betonilha, 4 cm de isolamento XPS, laje de betão armado com 28 cm e reboco de 2 cm, com $U_{ascendente} = 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{descendente} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.
- Pavimento de compartimentação interior com 38 cm, com 2 cm de argamassa e cal de areia, laje de betão armado com 28 cm, 4 cm de XPS, 3 cm de betonilha e mosaico cerâmico de 1 cm garantindo um $U_{ascendente} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{descendente} = 0,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica superficial (U) e da massa superficial útil (M_{si}) de cada solução construtiva e o indicador de massa térmica do edifício (I_t) foi efetuado segundo as regras e os valores especificados no RCCTE [8]. As propriedades termofísicas dos materiais foram retiradas da publicação do LNEC “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ITE 50” [23].

Dado ênfase aos principais elementos presentes na construção e aos seus coeficientes de condutibilidade térmica, passamos a fazer de uma forma geral referência a outras soluções construtivas também elas importantes para uma simulação precisa (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Coeficientes de transmissão térmica de outras soluções construtivas.

Elemento	Coeficiente de transmissão térmica [W/(m ² ·°C)]
Vigas Exteriores	0,71
Caixa de Estore	0,46
Envidraçados Exteriores	3,7

Para a determinação da massa térmica do edifício teve-se em consideração os diferentes elementos apresentados até então e a área que cada um terá em contacto com diferentes espaços (espaços não úteis ou frações autónomas, solo e espaços úteis).

Apresenta-se na Tabela 2.4 um resumo das características térmicas das soluções construtivas consideradas, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica (U), a massa superficial útil (M_{si}), a área da superfície interior (S_i), o coeficiente de correção da massa térmica (r) e a respetiva massa térmica (produto dos três), calculados de acordo com as regras impostas pelo RCCTE [9]. Nesta tabela indica-se ainda a massa térmica total do edifício (704 126 kg).

Reunimos finalmente todas as condições para confirmar se, com as soluções construtivas selecionadas, o edifício possui uma classe de inércia forte. Através da expressão (2.1) e sabendo a área útil de pavimento ($A_p = 1\,423\text{ m}^2$) é possível determinar o indicador de massa térmica específica do edifício, vindo

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \rightarrow I_t = \frac{704126}{1423} = 494,82\text{ kg/m}^2 \quad (2.1)$$

Recorrendo à Tabela 2.4 podemos conferir que o edifício possui a classe de inércia desejada, uma classe forte.

Tabela 2.4 – Massa térmica de cada elemento e do edifício.

Elemento	U [W/(m.°C)]	M_{si} [kg /m ²]	S_i [m ²]	r	$M_{si}rS_i$ [kg]
Parede exterior	2,02	114	580	1	66 120
Pilares exteriores	0,64	98	90	1	8 820
Vigas exteriores	0,71	32	139	1	4 448
Pavimento sobre o exterior	0,69/0,66	77	619	1	47 663
Cobertura exterior	0,69/0,73	150	561	1	84 150
Paredes interiores	1,36	120	39	1	4 680
Pavimento interior*	0,63/0,69	77	30	1	2 310
Parede em contacto com o terreno	0,68	49	168	1	8 232
Pavimento em contacto com o terreno*	0,63/0,73	77	599	1	46 123
Laje entre pisos	0,63/0,69	300	741	1	222 300
Parede de compartimentação interior	0,74	120	1 414	1	169 680
Pilar compartimentação interior	0,64	300	32	1	9 600
Viga compartimentação interior	0,64	300	100	1	30 000
Total					704 126

(*) Os valores representam os coeficientes de transmissão térmica referente ao sentido do fluxo de calor, descendente/ascendente.

2.3. Renovação do Ar no Edifício

2.3.1. Requisitos mínimos para garantia da QAI

O edifício que vai ser objeto de estudo é abrangido pelo RSECE [8]. A aplicação deste regulamento tem como objetivo definir as condições de conforto térmico, de QAI e de higiene mínimas nos diferentes espaços do edifício em função do seu tipo de utilização, melhorar a eficiência energética dos edifícios, quer a nível de climatização quer a nível de todos os equipamentos utilizados no seu interior e exigir a monitorização regular e a respetiva manutenção dos equipamentos instalados de modo a garantir uma longa vida do edifício.

Neste trabalho procura-se identificar qual a estratégia de ventilação que, sem por em risco quer o conforto térmico quer a QAI, leva a menores consumos de energia de um edifício que funciona como lar de terceira idade. Como critério impôs-se que as taxas de renovação de ar dos espaços cumprissem pelo menos os caudais de ar mínimos impostos pelos regulamentos e as normas em vigor, mais especificamente o RSECE [8] (quartos, gabinetes, salas e circulações interiores), a norma NP 1037 [24] (instalações sanitárias) e a norma EN 13779 [25] (cozinha). Conforme o sugerido por Raimundo e Cardoso [15], no caso de espaços em que a sua renovação de ar é efetuada por ventilação natural considera-se como adequados valores de caudais de ar cuja média anual seja igual ou ligeiramente superior ao recomendado pela legislação e as normas e em que a sua variação ao longo do ano esteja compreendida entre 60% e 140% desse valor.

Para definir os caudais de ar a insuflar em cada zona em que supostamente se dividiu o edifício consideraram-se os requisitos da legislação e das normas anteriores [8, 24, 25], uma eficiência de ventilação (η_v) de 80% e que o ar insuflado é 100 % ar novo. Deste processo resultaram os caudais de ar novo (Q_{AN}) representados na Tabela 2.5.

O sistema de ventilação da cozinha baseia-se numa *hotte* compensada e é autónomo e independente dos sistemas que asseguram a renovação de ar dos outros espaços. De modo a evitar a disseminação dos contaminantes gerados na cozinha pelo interior do edifício, este sistema está preparado para garantir que a cozinha funciona em depressão face aos espaços adjacentes. A norma EN 13779 [25] aconselha um caudal de ar mínimo de 15 rph nas cozinhas, mas no presente caso foi selecionado uma *hotte* que consegue garantir 20 rph. Dado a zona 0.8 não ser só referente à cozinha, o que leva a um

aumento do volume desta zona, globalmente a taxa de renovação de ar nesta zona atinge as 16,3 rph (ver Tabela 2.5). Para o cálculo dos caudais a insuflar pela *hotte* foi tido em conta um nível de depressão (R) de 0,85 na cozinha, para que esta seja bem compensada e que a velocidade do ar não seja muito elevada. Temos assim que:

$$R = \frac{Q_{insuf.}}{Q_{ext.}} \rightarrow Q_{insuf.} = 0,85 \times 1952,40 = 1659,54 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.2)$$

Deste modo podemos selecionar uma *hotte* e os seus ventiladores (insuflação e extração) capazes de cumprir estes requisitos e saber qual a energia consumida, assumindo uma eficiência de ventilação (η_v) de 100%.

Tabela 2.5 – Caudais de ar novo a insuflar em cada zona em que supostamente se dividiu o edifício.

Zona	Nº de ocupantes	Volume [m ³]	Q_{AN} [m ³ /h]	Q_{AN}/η_v [m ³ /h]	Q_{AN} [rph]
-1.1	2	549,33	924,95	1156,19	2,1
0.1	8	81	405,00	506,25	6,3
0.2	2	77,19	60,00	75,00	1,0
0.3	8	309,6	360,00	450,00	1,5
0.4	2	252,96	550,50	688,13	2,7
0.5	8	312,96	360,00	450,00	1,5
0.6	4	113,31	192,55	240,69	2,1
0.7	0	65,76	328,80	411,00	6,3
0.8	3	120	1561,92	1952,40	16,3
0.9	32	246,72	1120,00	1400,00	5,7
0.10	2	306	691,20	864,00	2,8
1.1	8	81	405,00	506,25	6,3
1.2	2	77,19	60,00	75,00	1,0
1.3	8	309,6	360,00	450,00	1,5
1.4	2	252,96	550,50	688,13	2,7
1.5	8	312,96	360,00	450,00	1,5
1.6	0	47,13	0,00	0,00	0,0
1.7	6	122,55	240,70	300,88	2,5
1.8	6	94,71	372,15	465,19	4,9
1.9	32	242,1	1120,00	1400,00	5,8
1.10	2	306,63	599,05	748,81	2,4

No caso específico dos quartos seguiu-se as recomendações expressas por Lamas [26] para este tipo de espaços. Ou seja, é considerado um caudal de renovação de ar de 45 m³/h por ocupante, o que perfaz 1,5 rph, valor superior aos 30 m³/h impostos pelo RSECE [8] para cada ocupante. Esta ação permite que a extração seja efetuada através das

instalações sanitárias dos respetivos quartos e vai ainda permitir um refrescamento no verão, o que contribui para manter os níveis de conforto térmico.

Relativamente à cave, existe uma divisão destinada às caldeiras. Para essa divisão foi seguido a norma NP 1037 [24], que diz que o caudal de extração em locais onde se encontrem caldeiras é igual a 5 vezes a potência térmica, em kW, destas. Somamos, então, as potências da caldeira responsável pelo aquecimento com a potência da caldeira para o sistema de preparação de água quentes sanitárias (AQS), perfazendo um total de 100 kW. Logo, o caudal de extração será de 500 m³/h.

A tipologia de uso “lares de terceira idade” não se encontra prevista no RSECE [8]. Deste modo, sempre que necessário, seguiu-se o recomendado em [11] e considerou-se que esta tipologia de uso pode ser equiparada a “empreendimentos turísticos de 3 estrelas”, esta sim estipulada neste regulamento.

2.3.2. Coeficientes de pressão nas fachadas

Entre os espaços interiores e o exterior dos edifícios dá-se a ocorrência de diferenças de pressão, as quais são essenciais para o deslocamento do ar de forma natural e para a determinação dos melhores locais para a aplicação de grelhas e de chaminés. Podemos afirmar que a renovação de ar por meio de uma ventilação natural depende fortemente deste diferencial de pressão.

A diferença de pressão (ΔP) entre o interior e o exterior é essencialmente devida a dois efeitos principais, são eles o efeito do vento (ΔP_W) nas fachadas e o efeito chaminé ou impulsão térmica (ΔP_T). No entanto para estes fenómenos ocorrerem é necessária a presença de frinchas, chaminés, grelhas, abertura de portas e/ou janelas, etc. A diferença de pressão pode ser calculada com recurso à equação (2.3) onde, além das variáveis já referidas, estão implícitas a diferença de pressão criada pela possível presença de sistemas de ventilação mecânica (ΔP_M) e as perdas de cargas promovidas pela passagem do ar (ΔP_C). Desprezando a influência de diferenças de cota, a diferença de pressão numa abertura de uma fachada pode ser determinada através da expressão [15; 27]

$$\Delta P = \Delta P_W + \Delta P_T + \Delta P_M - \Delta P_C \quad (2.3)$$

O vento ao incidir numa parede exterior irá originar sobrepressões nessa fachada e a depressões na fachada oposta, levando à ocorrência de fluxos de ar dentro do edifício, fruto das aberturas existentes. Nas fachadas laterais e na cobertura podem ocorrer ambos (sobrepressão e/ou depressão), dependendo do ângulo de incidência do vento, da envolvente e da arquitetura do edifício (ver Figura 2.5). A diferença de pressão promovida pela ação do vento pode ser obtida recorrendo à expressão [15; 27]

$$\Delta P_W = 0,5 C_p \rho_{ext} V_H^2 \quad (2.4)$$

em que o C_p é o coeficiente de pressão do vento (adimensional), ρ_{ext} a massa específica do ar no exterior em kg/m^3 e V_H a velocidade do vento a uma cota igual à altura da fachada de incidência. Torna-se assim extremamente importante definir antecipadamente os coeficientes de pressão nas fachadas [15].

Como os coeficientes de pressões dependem de inúmeras variáveis, como a direção do vento, os obstáculos naturais do meio envolvente ao edifício, dos edifícios adjacentes, e de a sua previsão com alguma precisão só ser possível através de programas de cálculo do tipo CFD (*computational fluid dynamics*), foi utilizado um método para o cálculo dos valores médios dos coeficientes de pressão proposto por Swami e Chandra [28, 29] para um edifício paralelepípedo de altura (H) baixa e com cobertura plana ou de inclinação reduzida ($< 15^\circ$). Representa-se agora a expressão que traduz a obtenção dos valores dos coeficientes de pressão

$$C_p = C_{p0} \ln[1,248 - 0,703 \text{sen}(\alpha) - 1,175 \text{sen}^2(2\alpha) - 0,131 \text{sen}^3(4G\alpha) + 0,769 \text{cos}(\alpha) + 0,071G^2 \text{sen}^2(\alpha) + 0,717 \text{cos}^2(\alpha)] \quad (2.5)$$

onde: $G = \ln(G_f) = \ln\left(\frac{L}{W}\right)$
 Se $0 \leq \theta \leq 180^\circ \rightarrow \alpha = \theta/2$
 Se $180^\circ \leq \theta \leq 360^\circ \rightarrow \alpha = (360 - \theta)/2$

em que C_{p0} é o valor médio do coeficiente de pressão do vento na fachada de incidência do vento, θ o ângulo entre a normal à fachada em apreço e a direção de incidência do vento, isto é, por exemplo a fachada onde é incidido o vento verifica-se que o $\theta = 0^\circ$. Por sua vez G_f é o factor geométrico do edifício dado pela relação entre L , que é a largura da fachada de incidência e W , que se entende como a largura das fachadas laterais. Na Figura 2.5 apresenta-se um exemplo da circulação do vento em torno do edifício.

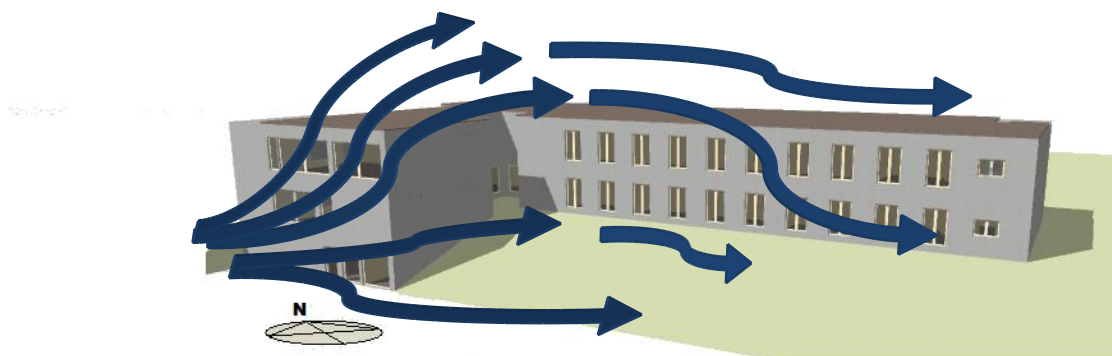


Figura 2.5 – Exemplo da circulação do vento em torno do edifício em estudo.

Apresentam-se na Tabela 2.6 os valores considerados para o nosso caso em particular no que diz respeito ao fator geométrico (G_f), aos coeficientes de pressão do vento nas fachadas e na cobertura do edifício [15].

Tabela 2.6 – Parâmetros relacionados com o coeficiente de pressão [15].

Orientação do vento		Fator	Coeficiente	Cobertura
<i>Rumo</i>	β (°)	G_f	C_{p0}	C_p
Norte	0	1,00	0,60	-0,60
Nordeste	45	0,50	0,60	-0,55
Este	90	1,00	0,60	-0,60
Sudeste	135	2,00	0,60	-0,65
Sul	180	1,00	0,60	-0,60
Sudoeste	225	0,50	0,60	-0,55
Oeste	270	1,00	0,60	-0,60
Noroeste	315	2,00	0,60	-0,65

No gráfico presente na Figura 2.6 representa-se, para o caso particular do edifício em estudo, a relação entre os coeficientes de pressão nas fachadas e a direção do vento. Como é possível verificar existem orientações de vento que não são visíveis no gráfico nomeadamente, Nordeste, Oeste e Sul, isto deve-se estes comportarem-se de forma análoga a Sudoeste, Norte e Este, respetivamente.

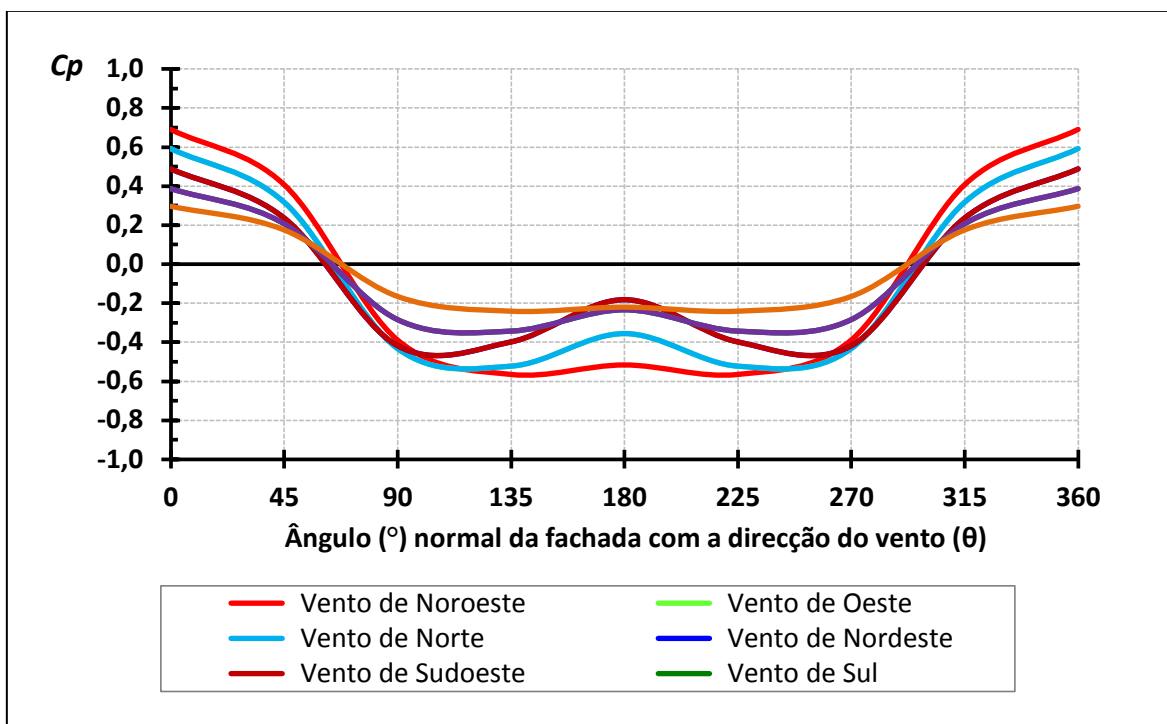


Figura 2.6 – Coeficientes de pressão nas fachadas em função do ângulo que a sua normal faz com direção de incidência do vento.

2.3.3. Infiltrações

A estanquicidade dos edifícios mais recentes tende a ser maior do que a dos mais antigos. Este facto leva a que, nos edifícios atuais, os caudais de ar introduzidos e retirados por ventilação natural através de frinchas sejam diminutos. Logo, no caso de se optar por ventilação natural é necessário equipar o edifício com grelhas, chaminés, etc. Caso contrário não se consegue obter uma QAI minimamente aceitável.

Recorrendo ao *software* CONTAM, Ponte [16] determinou que num edifício com características semelhantes ao em estudo as taxas de infiltrações médias por frechas de portas e janelas têm um valor de aproximadamente 0,16 rph, com um desvio padrão de 0,11 rph. Esta taxa de renovação de ar é manifestamente insuficiente para garantir os requisitos da legislação em vigor. Deste modo os sistemas de ventilação considerados neste trabalho têm de encorpar também grelhas (ver Figura 2.7) e/ou dispositivos de ventilação mecânica.

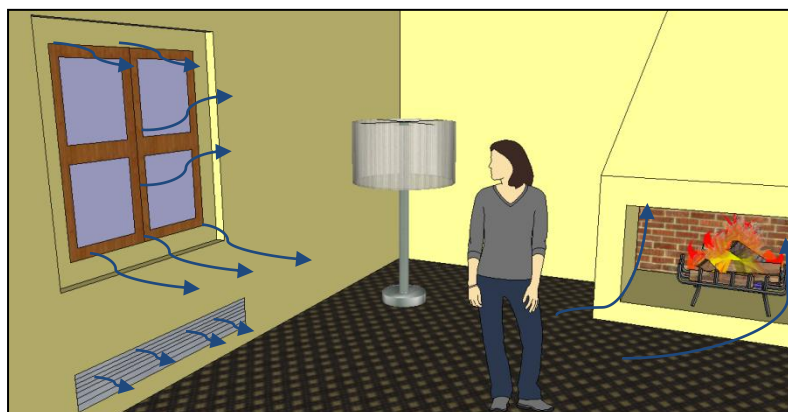


Figura 2.7 – Exemplo dos caminhos de escoamento possíveis na situação de ventilação natural de um espaço.

2.3.4. Estratégias de ventilação

A ventilação é essencial para a saúde e para o conforto dos ocupantes dos edifícios e neste ponto fazemos referência as diferentes estratégias abraçadas de modo a garantir uma boa eficiência de ventilação (η_v). Entende-se como uma boa eficiência de ventilação quando a percentagem de ar que é insuflado num espaço cumpre a sua missão de remover os poluentes existentes no local [11]. A ventilação pode ocorrer de forma natural (ventilação natural) onde a admissão e extração do ar é efetuada pelas aberturas existentes na arquitetura do edifício e devido a forças naturais do vento e diferenças de temperatura. Quando a ventilação tem o auxílio de meios mecânicos, como ventiladores, denomina-se por ventilação mecânica. Por fim temos a ventilação híbrida que conjuga os dois casos até agora mencionados com a finalidade de, ao tirar partidos das principais vantagens de cada um deles, minimizar os consumos energéticos. Neste último caso existem espaços em que a renovação do ar é assegurada por dispositivos mecânicos, estando os restantes a ser ventilados apenas por meios naturais.

No presente trabalho analisam-se e comparam-se as três alternativas de ventilação anteriormente referidas: (i) ventilação natural; (ii) ventilação mecânica; e (iii) ventilação híbrida. Para todas as alternativas não vamos alterar a forma de ventilação da cozinha (sistema já descrito em 2.3.1).

No caso da renovação do ar do edifício apenas por ventilação natural todos os espaços estão equipados com as grelhas fixas necessárias e nos locais ideais.

Na renovação do ar por meio da ventilação mecânica todos os espaços são ventilados a partir de 2 UTANs. Uma UTAN assegurará toda a ventilação e climatização dos quartos, tendo capacidade para um caudal de 2000 m³/h de ar novo e com uma potência de arrefecimento de 3,40 kW e 8,16 kW de potência de aquecimento. A outra UTAN é responsável pelos restantes locais que requerem climatização e ventilação mecânica apropriada e terá a disponibilidade de insuflar 9000 m³/h de ar novo. Terá uma potência de aquecimento e arrefecimento de 36,72 kW e 15,30 kW respetivamente.

Por assegurarem uma boa distribuição, utilizam-se como unidades terminais de distribuição difusores tridimensionais. O sistema de ventilação da cozinha, como anteriormente referido, estará de acordo com a norma EN 13779 [25] e estará independente dos sistemas de ventilação do restante edifício. A eficiência de ventilação (η_v) neste caso será de 80%.

No caso da renovação do ar do edifício por ventilação híbrida os espaços como a cozinha, balneários e casas de banho estão equipados com ventilação mecânica. Os restantes espaços estão providos de grelhas que permitem a ventilação natural.

2.4. Sistemas de Climatização

2.4.1. Sistemas de produção térmica

Hoje em dia todos os edifícios devem conter um sistema de climatização que permita garantir todas as condições de conforto no seu interior. Devido a evolução tecnológica ao longo dos anos existe uma grande variedade de equipamentos que fazem parte de um sistema ou instalação de climatização, são eles: Bombas de Calor, Caldeiras (podendo ser utilizados diferentes tipos de energia para produzir o calor), Unidades de Arrefecimento de Ar (UAA/ em inglês *chillers* a ar e unidades compactas) e Unidades Produtoras de Água Refrigeradora (UPAR/*chillers* a água) a trabalhar por ciclo de compressão de vapor ou por ciclo de absorção, painéis solares, equipamentos de cogeração, etc. [11; 21].

A escolha do tipo de sistema é determinada consoante as necessidades dos locais a climatizar e as verbas dispostas a gastar. Podendo existir sistemas apenas para fins de aquecimento ou de arrefecimento ou sistemas que conseguem efetuar tanto o aquecimento e arrefecimento.

De modo a promover um estudo realista, tendo sempre em atenção ao tipo de edifício e a sua funcionalidade, foi optado por um sistema de climatização assente num *Chiller* / Bomba de calor ar-água. Para a produção de energia térmica com a finalidade de aquecimento foi estipulado um *COP* (*Coefficient of Performance*) de 4 e para arrefecimento um *EER* (*Energy Efficiency Ratio*) de 3. Estas eficiências das máquinas não são mais que uma razão entre a energia proporcionada pelo equipamento para um uso específico (energia útil/necessidade) e a energia que este consome (energia final/consumo).

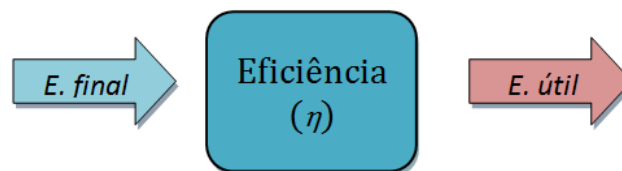


Figura 2.8 – Eficiência de um equipamento.

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{final}}} \quad (2.6)$$

2.4.2. Integração dos subsistemas térmicos com os de ventilação

No caso dos espaços ventilados mecanicamente, a água aquecida ou arrefecida pelo *Chiller* / Bomba é conduzida por um sistema a 4 tubos para as baterias de arrefecimento e de aquecimento das unidades de tratamento de ar novo (UTANs). Como unidades terminais usam-se difusores tridimensionais e as condutas de transporte de ar estão convenientemente isoladas termicamente e cumprem todos os outros requisitos do RSECE [9].

No caso dos espaços em que a renovação do ar é assegurada por ventilação natural, a água aquecida ou arrefecida pelo *Chiller* / Bomba é conduzida por um sistema a 4 tubos para os ventiloconvectores instalados nos espaços a climatizar. Estes dispositivos não estão ligados a qualquer sistemas mecânico de ventilação, limitando-se a aquecer ou a arrefecer o ar do próprio espaço em que estão implantados o qual recirculam. A renovação de ar é assegurado pelos dispositivos de ventilação natural previstos para o efeito.

Foram impostos, *set-points* de temperatura do ar nas diferentes zonas, entenda-se como a temperatura mínima e máxima requerida para a estação de aquecimento e

arrefecimento respetivamente. Esses *set-points* de temperatura têm em consideração que são cumpridos os valores de índices de conforto térmico propostos por Fanger *et al.*(1973) [31] (*PMV*, *Predicted Mean Vote*, e *PPD*, *Predicted Percentage Dissatisfied*) e definidos na norma ISO 7730 [30]. Também é tido em atenção que os ocupantes possuem um isolamento proporcionado pelo vestuário de 1 *clo*, que é a unidade equivalente a $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$, desenvolvida por Gagge *et al.*(1941) [32, 11], que define o isolamento requerido por um conjunto de vestuário para manter em conforto térmico um indivíduo sentado e em repouso num compartimento com uma temperatura do ar de 21°C, uma humidade relativa de 50% e uma velocidade do ar de 10 cm/s. Posto isto, os *set-points* de temperatura operativa para zonas climatizadas são de 20°C quando a estação é de aquecimento (início de Outubro a fim de Abril) e de 25°C para a estação de arrefecimento (início de Maio a final de Setembro).

Devido às diferentes tipologias dos espaços, a climatização destes não será necessária durante certas partes do dia. No que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento dos quartos (0.2, 0.3, 0.5, 1.2, 1.3 e 1.5) o sistema esta preparado para o funcionamento durante todas as horas do dia. Nos corredores e circulações (0.4, 0.10, 1.4 e 1.10) apenas das 8h às 21h será efetuada a climatização. Nas salas (0.1, 0.9, 1.1 e 1.9) e nos gabinetes (0.6 e 1.7) têm-se em conta a ocupação dos mesmos.

Os espaços não climatizados não foram sujeitos a quaisquer *set-points*, são eles a cave (-1.1), a cozinha (0.8) e os arrumos (1.6). Existem ainda espaços onde é feito apenas aquecimento, como os balneários (0.7) e as instalações sanitárias (1.8) e para tal nestes espaços a climatização é efetuada de acordo com os perfis de ocupação dos mesmos.

Relativamente aos *set-points* da humidade relativa foi tido apenas o cuidado de, após as simulações, verificar se estes não ultrapassavam os valores aconselhados pela norma ISO 7730 [30] e se mantêm próximos dos 50% requeridos no RCCTE [8] e ao qual o RSECE [9] toma como referência.

2.4.3. Freecooling e sistemas de recuperação de calor

A utilização de economizadores é uma aposta cada vez mais forte quando se fala na minimização dos consumos energéticos. No decorrer deste estudo procurou-se

saber qual a influência de dois economizadores na redução desses consumos. Foram eles o *freecooling* e os sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição.

Os sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição foram desenvolvidos pelos países nórdicos pois estes, devido ao clima, têm grandes gastos com as necessidades de aquecimento. Como o próprio nome indica, é procurado fazer uma recuperação a partir da transferência do calor do ar rejeitado (exaustão) para o ar proveniente do exterior que será insuflado no espaço. Desta maneira as necessidades de aquecimento do ar agora introduzido diminuem. Esta transferência ocorre com recurso a unidades especificadas especialmente para esta função que são acopladas aos sistemas de ventilação, por norma estes sistemas são sistemas balanceados. Hoje, é já bastante frequente o uso de recuperação de energia do ar de exaustão em UTAs (de duplo fluxo) e UTANs por meio de rodas entálpicas (ver Figura 2.9) ou com permutadores de calor de fluxos cruzados (ver Figura 2.10), etc. De notar que a eficiência dos recuperadores de calor pode hoje chegar aos 85% dependendo do método usado [33]. As desvantagens destes sistemas recaem sobretudo sobre a possibilidade de haver recirculação de odores e poluentes. A nível técnico por vezes são necessários grandes espaços para a colocação destes equipamentos [34] e impõem uma perda carga muito elevada o que leva a grandes consumos de energia por parte dos ventiladores.

A partir da literatura pesquisada [33; 34] e em conformidade com o exigido no RSECE [9], assumiu-se para efeitos de simulação uma eficiência de recuperação de calor de 65% e que o sistema de recuperação só está operacional nos meses de Novembro inclusive até ao final do mês de Março e estará inerente ao sistema de ventilação mecânica adotado.

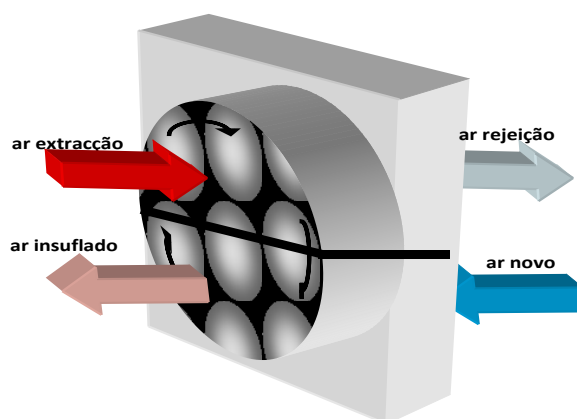
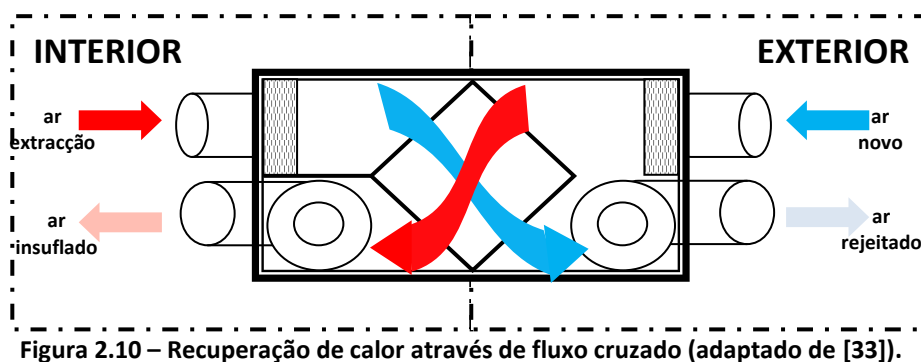


Figura 2.9 – Recuperação de calor através de roda entálpica (adaptado de [33]).



À noite, sempre que a temperatura do ar exterior se encontra mais baixa que a do ar interior é possível insuflar este ar de modo a arrefecer o interior do edifício (quer o ar e as estruturas do edifício). Deste modo diminuem-se as necessidades de arrefecimento que o edifício vai ter ao longo do dia. É importante referir que a obtenção dos melhores resultados depende fortemente da inércia térmica do edifício, sendo que estes prosperam quando se trata de edifícios de inércia forte. A esta técnica dá-se pelo nome de *freecooling* ou ventilação noturna. A tradução literal para português significa “arrefecimento gratuito” o que pode não ser inteiramente verdade uma vez que na maioria dos casos recorre-se à utilização de ventiladores, os quais necessitam obviamente de energia para funcionar [13]. Esta técnica, sobre a qual existem vários estudos publicados, tem a particularidade de promover bons resultados nos países mediterrâneos [13; 35; 36].

No corrente trabalho o *freecooling* é equacionado nas simulações tendo em atenção que o mesmo é apenas realizado quando a temperatura do ar exterior é, pelo menos, inferior em 4°C à do ar interior ($\Delta T = T_{int.} - T_{ext.} = 4^{\circ}C$). A esta imposição soma-se o facto de apenas ocorrer desde o início de Maio até final de Setembro. De citar ainda que esta técnica está implícita apenas à existência de sistemas de ventilação mecânica.

Como conclusão os sistemas economizadores selecionados não se encontraram em funcionamento simultâneo e as zonas que estarão preparadas para os receber são possíveis de consultar na Tabela 2.7. Foi tido em conta que nos quartos não se iria por em prática a técnica do *freecooling*, devido à tipologia destes e o sistema está preparado responder às necessidades de arrefecimento a todas as horas do dia.

Tabela 2.7 – Zonas onde atuam os economizadores.

Zonas	<i>Freecooling</i>	Sistemas recuperação de calor	Zonas	<i>Freecooling</i>	Sistemas recuperação de calor
0.1	Sim	Sim	1.1	Sim	Sim
0.2	Não	Sim	1.2	Não	Sim
0.3	Não	Sim	1.3	Não	Sim
0.4	Sim	Sim	1.4	Sim	Sim
0.5	Não	Sim	1.5	Não	Sim
0.6	Sim	Sim	1.6	Não	Não
0.7	Sim	Sim	1.7	Sim	Sim
0.8	Não	Não	1.8	Sim	Sim
0.9	Sim	Sim	1.9	Sim	Sim
0.10	Sim	Sim	1.10	Sim	Sim

2.5. Sistemas de Águas Quentes Sanitárias

No presente estudo temos o intuito de comparar os diversos consumos energéticos do edifício em causa. A preparação de águas quentes sanitárias (AQS) pode constituir um dos principais consumos de energia nos vários sectores. Por estas razões torna-se importante calcular as necessidades de energia para o aquecimento da água.

É possível calcular a energia útil despendida pelos sistemas convencionais de preparação de AQS recorrendo à seguinte expressão:

$$Q = mC_p\Delta T \quad (2.7)$$

em que Q é a energia útil necessária para o aquecimento da água, em kJ/dia, m é a massa de água, em kg/dia (igual valor em litros), C_p é o calor específico da água (4,187 kJ/kg°C), ΔT é o aumento da temperatura da água pretendido, em °C.

De referir que ΔT toma um valor de referência de 45°C uma vez que é assumido que a água da rede é fornecida em média a 15°C e que deverá ser aquecida até 60°C e que o consumo é de 40 litros/pessoa [9]. Para os cálculos é ainda considerado que, além das 28 pessoas que o edifício alberga, existem também 2 funcionários em permanência. Ou seja:

$$Q = 1200 \cdot 4,187 \cdot 45 = 226\,098 \text{ kJ/dia}$$

Sendo 1 kWh = 3 600 kJ e o tempo de funcionamento igual a 365 dias, resulta

$$Q = 22\,923,83 \text{ kWh/ano}$$

Selecionando um termoacumulador elétrico com espessura de isolamento térmico entre 50 mm e 100 mm, o qual terá uma eficiência (η_a) de 0,90 [9], a energia elétrica consumida (Q_f) será:

$$Q_f = \frac{Q}{\eta_a} \quad (2.8)$$

Por fim é importante referir que neste trabalho não foi adicionado nenhum sistema de preparação de AQS baseado em energias renováveis, como por exemplo solar térmico. Embora o recurso a sistemas baseados em energias alternativas trouxesse enormes benefícios, tal não foi previsto por ultrapassar os objetivos deste trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é procurado expor e analisar os resultados obtidos nas simulações. Será discutida a relação entre o consumo de energia e a estratégia de renovação de ar do edifício. Será analisada ainda a influência de sistemas economizadores de energia identificados como potencialmente relevantes: a recuperação de calor do ar de rejeição e o arrefecimento gratuito (*freecooling*).

De modo a obter resultados com a precisão desejada, para simular a renovação de ar e o funcionamento energético do edifício, o mesmo foi supostamente dividido em 21 zonas distintas. Ora, seria exageradamente exaustivo expor e analisar o comportamento de cada uma delas. Deste modo, para efeitos de apresentação e análise de resultados, as zonas anteriores são agrupadas segundo a sua utilização, resultando assim 7 tipologia de uso distintas: (i) Salas; (ii) Quartos; (iii) Gabinetes; (iv) Circulações; (v) Balneários e Instalações sanitárias; (vi) Cozinha; e (vii) Armazéns e Arrumos.

De notar que quer a Cozinha quer os espaços classificados como armazém vão manter as suas condições de funcionamento independentemente dos sistemas de ventilação assumidos para o edifício. Como é óbvio, também os consumos de energia para a iluminação, pelos equipamentos e para a preparação de AQS não são influenciados pela estratégia de renovação de ar a implementar no edifício.

3.1. Renovação de ar com recurso à Ventilação Natural

A ventilação natural oferece a melhor solução em termos de custos de implementação. Para além disso não apresenta consumos relacionados com a ventilação do edifício. Pelo lado negativo temos o facto de nem sempre ser possível assegurar os requisitos de caudal mínimo de ar e de condições desejáveis de conforto, mesmo quando satisfeita a norma NP 1037 [24].

Para esta simulação parte-se do princípio que todos os espaços, exceto a cozinha, estão ventilados de forma natural. Desta forma todo o edifício foi provido de grelhas nas localizações consideradas mais apropriadas. Em Ponte [16] e Raimundo e

Cardoso [15] foi feito um estudo dessas localizações e das áreas de passagem que estas devem assegurar, o que foi tomado em conta neste trabalho.

É sabido que as condições climáticas são peça importante na simulação da ventilação natural. No ANEXO B podemos ver em pormenor os dados climáticos do local de implantação do edifício (zona suburbana de Coimbra) utilizados nas simulações.

No caso por ventilação natural, os fatores climáticos exteriores assumem uma importância acrescida sobre as taxas de renovação do ar em cada zona do edifício. Na Figura 3.1 exemplifica-se a influência e a relação que os diversos fatores climáticos (diferenças de temperatura entre o exterior e interior, velocidade e direção do vento) podem ter sobre as renovações de ar numa dada zona. É possível constatar que as renovações de ar nem sempre cumprem os caudais recomendados para este caso, nomeadamente nos meses de verão. Este fenómeno pode ser explicado pelo efeito chaminé e pelo efeito do vento.

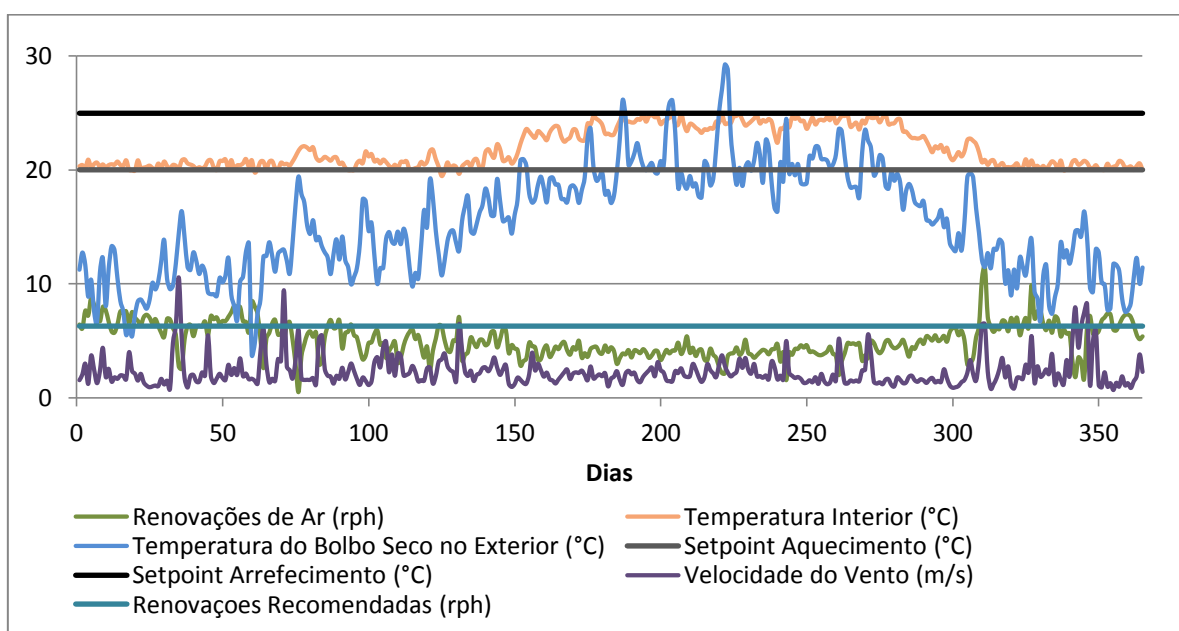


Figura 3.1 – Influência da temperatura e da velocidade do vento nas renovações de ar da sala (zona 1.1), para o caso da ventilação natural.

É sabido que no Verão a diferença de temperatura entre o interior e o exterior é mais baixa tal como a velocidade do vento, como é possível verificar na Figura 3.1. Tal fará com que a renovação de ar se dê com menos intensidade no Verão. No Inverno verifica-se o oposto. É evidente notar a cumplicidade entre os picos de velocidade do vento e os picos de renovações de ar por hora, provando assim a sua grande influência.

Recorreu-se a uma média mensal dos valores da razão entre a renovação de ar prevista ($Ren_{previsto}$) e o valor recomendado ($Ren_{recomendado}$), ou seja:

$$R_c = \frac{Ren_{previsto}}{Ren_{recomendado}} \quad (3.1)$$

É assumido, tal como referido anteriormente, que, quando um espaço é ventilado naturalmente, valores compreendidos entre 60% e 140% do valor deste rácio (R_c) são considerados aceitáveis. Na Figura 3.2 é possível analisar em detalhe o rácio entre o valor médio mensal das renovações de ar previstas para o caso de ventilação natural e o correspondente valor recomendado. Como podemos verificar nos meses de inverno, à exceção das salas, é muito difícil manter um R_c dentro dos limites assumidos como admissíveis. No verão, devido à conjugação do efeito chaminé e do efeito reduzido do vento, consegue-se valores mais razoáveis.

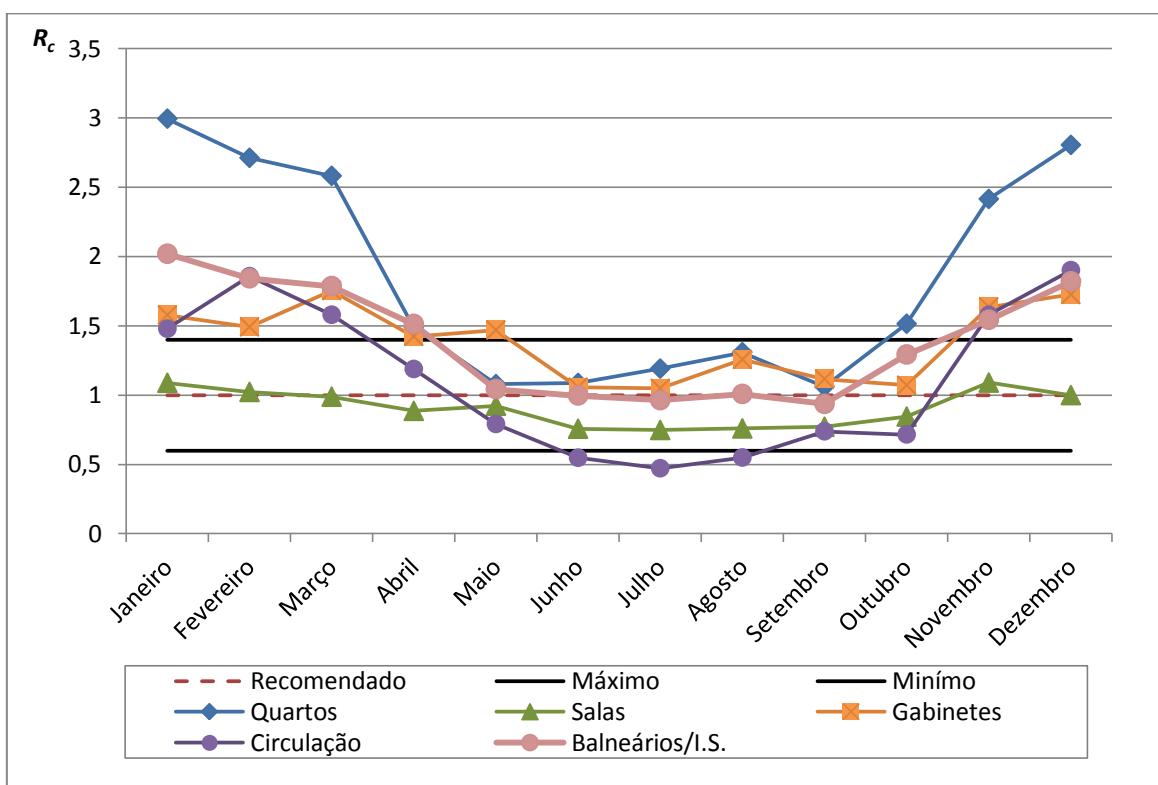


Figura 3.2 – Valor médio mensal do rácio entre as renovações de ar previstas para o caso de ventilação natural e o correspondente valor recomendado.

A nível de necessidades energéticas, o *software* permite-nos estimar as necessidades detalhadas por zonas e por funções. Expõem-se na Tabela 3.1 as necessidades

de energia para aquecimento e para arrefecimento referentes ao rés-do-chão e primeiro andar, para o caso de ventilação natural. Os 3 504 kWh/ano de necessidades de ventilação dizem respeito aos sistemas mecânicos de renovação de ar da cozinha, valor independente da estratégia de ventilação assumida. No caso de ventilação natural, as necessidades de energia para climatização e ventilação totalizam então 153 271 kWh/ano.

Tabela 3.1 – Necessidades energéticas para aquecimento arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação natural.

Ventilação Natural [kWh/ano]			
	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação
Piso 00	62 342	9 937	-
Piso 01	55 295	22 193	-
Total	117 637	32 130	3 504

Como era esperado, devido a um maior número de renovações de ar no inverno, as necessidades de aquecimento são responsáveis por cerca de 77 % do valor global para climatização. Verifica-se que o rés-do-chão tem mais necessidades de aquecimento que o primeiro andar, isto poderá dever-se ao primeiro andar ter uma área muito grande de envidraçados sem sombreamento. Pelo contrário o piso inferior, mesmo tendo uma área de envidraçados semelhante, tem sombreamento provocado pelas árvores de folha caduca e pela colina. De referir também que o rés-do-chão como está em contacto com solo terá perdas por este. Estão contempladas as necessidades para os ventiladores que atuam na extração e insuflação cozinha (*hotte compensada*).

3.2. Renovação de ar por Ventilação Mecânica

3.2.1. Sem recurso a sistemas economizadores de energia

Primeiramente foi efetuada a simulação dinâmica do edifício assumindo ventilação mecânica simples, ou seja, sem recorrer a qualquer tipo sistema que permita economizar os consumos de energia. Esta será a nossa base de comparação com outras estratégias de ventilação. Na Tabela 3.2 apresenta-se a previsão das necessidades energéticas para esta estratégia de ventilação. À semelhança da Tabela 3.1 temos as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mas acresce agora as necessidades dos ventiladores. De

referir que o *software* não nos discrimina as necessidades dos ventiladores por zonas ou por funções.

Tabela 3.2 – Necessidades energéticas sem recurso a sistemas economizadores.

Ventilação Mecânica [kWh/ano]			
	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação
Piso 00	16 778	19 209	-
Piso 01	24 397	35 128	-
Total	41 175	54 337	50 101

Como podemos reparar na Tabela 3.2 as necessidades para a ventilação, entenda-se sem levar em consideração a eficiência dos ventiladores, são responsáveis por aproximadamente 34% das necessidades globais para climatização e ventilação, as quais totalizam 145 613 kWh/ano. Destas, 37% dizem respeito ao aquecimento e 28% ao arrefecimento.

3.2.2. Com recurso a sistemas de *freecooling*

Considera-se agora que os sistemas responsáveis pela ventilação mecânica são equipados com a possibilidade de realizar *freecooling* nos meses de verão. Apresentam-se na Tabela 3.3 as necessidades previstas para as funções relacionadas com a climatização e com a ventilação, as quais totalizam agora 141 646 kWh/ano. Ou seja, o recurso a sistemas de *freecooling* permite uma redução de cerca de 3% destas necessidades de energia.

Tabela 3.3 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação mecânica com recurso a sistemas de *freecooling*.

Ventilação Mecânica [kWh/ano]			
	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação
Piso 00	16 778	17 163	-
Piso 01	24 397	30 805	-
Total	41 175	47 968	52 502

Tal como era de esperar, as necessidades de arrefecimento decrescem quando comparadas com as previstas no caso de ventilação mecânica simples, reduzindo em 12% essas mesmas necessidades. O arrefecimento é agora responsável por 34% das

necessidades totais e o aquecimento por 29%. Ainda que estas últimas se mantenham nos mesmos valores. Devido ao aumento do uso dos ventiladores as necessidades de energia para ventilação sobem aproximadamente 5%, sendo 37% das necessidades totais.

3.2.3. Com recurso a sistemas de recuperação de calor

Considera-se agora que os sistemas responsáveis pela ventilação mecânica são equipados apenas com a possibilidade de realizar recuperação de calor do ar de rejeição nos meses de inverno, não existindo dispositivos que permitam *freecooling*. Apresentam-se na Tabela 3.4 as necessidades previstas para as funções relacionadas com a climatização e com a ventilação, as quais totalizam agora 125 740 kWh/ano. Ou seja, o recurso a sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição permite uma poupança de cerca de 14% destas necessidades de energia. Quando comparadas com as correspondentes para o caso de ventilação mecânica simples, as necessidades de aquecimento sofrem uma queda acentuada, de cerca de 52%. Verifica-se um aumento de 3% das necessidades de ventilação, quando comparadas com a situação base.

Tabela 3.4 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação mecânica com recurso a sistemas recuperação de calor do ar de rejeição.

Ventilação mecânica com recuperação de calor [kWh/ano]			
	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação
Piso 00	7 488	19 209	-
Piso 01	12 214	35 128	-
Total	19 702	54 337	51 700

3.2.4. Com recurso a sistemas de *freecooling* e de recuperação de calor

Considera-se agora que os sistemas responsáveis pela ventilação mecânica são equipados com a possibilidade de realizar recuperação de calor do ar de rejeição nos meses de inverno e que existem dispositivos que permitem *freecooling* no verão. Apresentam-se na Tabela 3.5 as necessidades previstas para as funções relacionadas com a climatização e com a ventilação, as quais totalizam agora 121 773 kWh/ano. Ou seja, o recurso a sistemas

economizadores de energia para climatização permitem uma poupança de cerca de 16% destas necessidades de energia. Quando comparadas com as correspondentes para o caso de referência, as necessidades de aquecimento e arrefecimento previstas baixam e as necessidades de ventilação sobem. As percentagens do aquecimento, arrefecimento e ventilação são então de 16%, 39% e 44%, respetivamente. Ficou provado que os dois sistemas economizadores reduzem as necessidades totais do edifício. Quando se recorre a ambos, a redução é ainda maior, visto ser a sua soma.

Tabela 3.5 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação mecânica com recurso a sistemas de *freecooling* e com recuperação de calor.

Ventilação mecânica com ambos os economizadores [kWh/ano]			
	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação
Piso 00	7 488	17 163	-
Piso 01	12 214	30 805	-
Total	19 702	47 968	54 102

É possível consultar com maior detalhe no Anexo C ANEXO as diferentes necessidades mensais, dos respetivos pisos quando impostas as 4 estratégias para a ventilação mecânica.

3.3. Renovação de ar por Ventilação Híbrida

A renovação de ar por meio da ventilação híbrida foi efetuada com base na ventilação natural. Como mencionado em 2.3.1, apenas a cozinha, casas de banho e balneários estão sobre o efeito da ventilação mecânica. Na cozinha os consumos de 3 504 kWh/ano são os mesmos que nas outras estratégias. No caso das casas de banho e balneários recorreu-se a uma série de catálogos onde se selecionou um conjunto de ventiladores capazes extrair o caudal calculado previamente. Assume-se que estes equipamentos funcionam em contínuo durante todo o ano.

Apresentam-se na Tabela 3.6 as necessidades previstas para as funções relacionadas com a climatização e com a ventilação, as quais totalizam agora 153 017 kWh/ano. Ou seja, a mudança de ventilação mecânica sem economizadores para ventilação híbrida leva a um aumento de cerca de 5% das necessidades de energia para climatização e ventilação. Quando comparadas com as correspondentes para o caso de

referência, as necessidades de aquecimento aumentam muito e as de arrefecimento baixam e as necessidades de ventilação decrescem substancialmente. No entanto, quando comparadas com o caso de ventilação natural as necessidades de aquecimento diminuem ligeiramente e as de arrefecimento mantêm-se. No caso de ventilação híbrida, o aquecimento é responsável por 73% das necessidades totais de energia para climatização e ventilação, o arrefecimento e a ventilação cerca de 21% e 6%, respetivamente.

Tabela 3.6 – Necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e ventilação, no caso de ventilação híbrida.

Ventilação híbrida [kWh/ano]			
	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação
Piso 00	58 515	9 937	-
Piso 01	53 568	22 193	-
Total	112 083	32 130	8 804

3.4. Comparação entre as diferentes estratégias de ventilação

Neste subcapítulo procura-se comparar as diferentes estratégias de ventilação adotadas. Recorremos então à Figura 3.3 e à Tabela 3.7 que relatam as necessidades de energia para as funções de climatização e ventilação previstas para as diferentes estratégias de renovação do ar interior consideradas. De referir que nas necessidades de ventilação não se incluem as respeitantes à cozinha e aos espaços de armazém e de arrumo, já que são independentes da estratégia de ventilação implementada. A variação indicada na Tabela 3.7 é determinada em relação à estratégia de ventilação selecionada como referência para efeitos de comparação, a ventilação mecânica sem sistemas economizadores de energia.

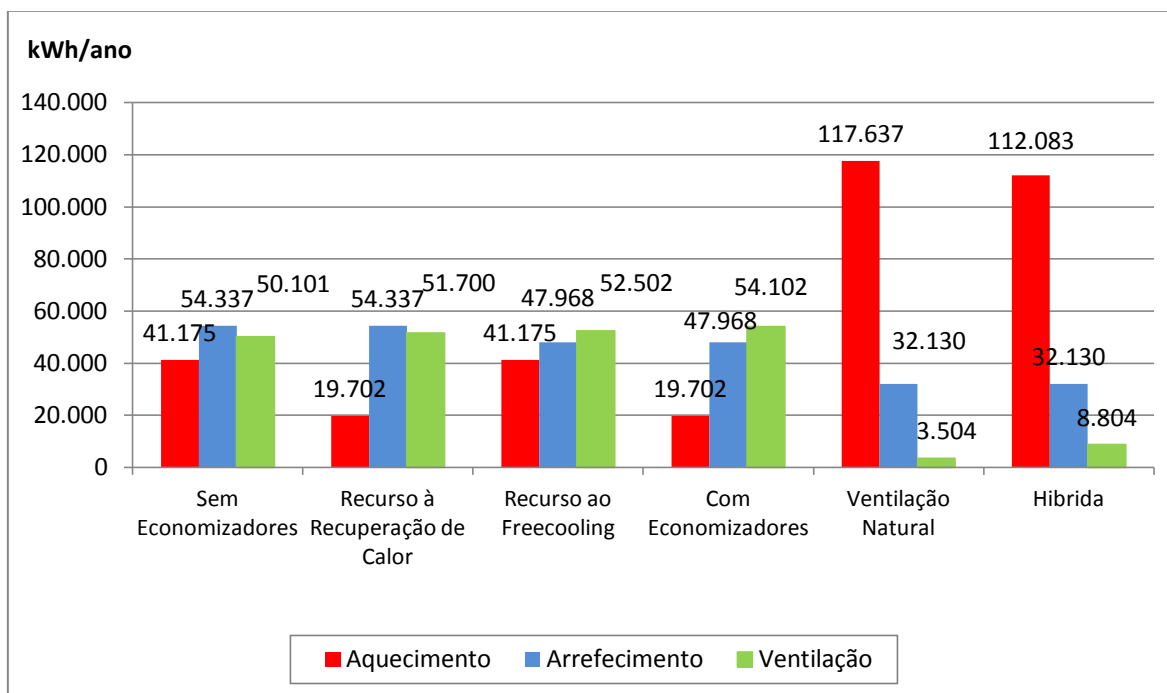


Figura 3.3 – Necessidades anuais de energia previstas para as diferentes estratégias de ventilação:

Sem economizadores → Ventilação mecânica simples; Recurso à recuperação de calor → Ventilação mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição; Recurso ao *freecooling* → Ventilação mecânica com possibilidade de *freecooling*; Com economizadores → Ventilação mecânica com recuperação de calor e com *freecooling*; Ventilação natural → Ventilação natural; Híbrida → Ventilação híbrida.

Tabela 3.7 – Necessidades anuais de energia previstas para as diferentes estratégias de ventilação.

Estratégia de ventilação	Aquec. [kWh/ano]	Arrefec. [kWh/ano]	Ventilação [kWh/ano]	Total [kWh/ano]	Varição
Sem economizadores	41 175	54 337	50 101	145 613	-
Recuperação de calor	19 702	54 337	51 700	125 740	-13,6 %
<i>Freecooling</i>	41 175	47 968	52 502	141 646	-2,7 %
Com economizadores	19 702	47 968	54 102	121 773	-16,3 %
Ventilação natural	117 637	32 130	3 504	153 271	+5,3 %
Ventilação híbrida	112 083	32 130	8 804	153 017	+5,1 %

Analisando os valores representados na Figura 3.3 e na Tabela 3.7 podemos verificar a existência de uma grande discrepância entre as necessidades de climatização (aquecimento e arrefecimento) quando utilizado a ventilação natural e híbrida. No caso da ventilação natural e da ventilação híbrida verifica-se um aumento das necessidades de

aquecimento do ar interior para cumprir os *setpoint* de temperatura. Podemos justificar este fenómeno com a incapacidade das grelhas restringirem os caudais de ar insuflado no Inverno. Ainda assim é curioso verificar que as necessidades de arrefecimento são mais baixas. Tal poderá dever-se ao facto das grelhas estarem sempre abertas o que leva às zonas estarem sobre um efeito de arrefecimento à noite. Este sucedido não se dá quando utilizada a ventilação mecânica. Podemos dizer que o *freecooling*, na ventilação mecânica, fará o mesmo efeito mas este não está implícito a todas as zonas e o ar terá de passar por todo um sistema de condutas podendo perder parte a sua capacidade de refrigeração. Algo que não acontece na natural e híbrida, onde o ar entra diretamente do exterior para os espaços.

Tendo em conta os valores presentes na Figura 3.3 e na Tabela 3.7, em termos apenas das necessidades de energia para as funções de aquecimento, de arrefecimento e de ventilação, as estratégias de ventilação podem ordenar-se (da melhor para a pior): 1^a) Ventilação mecânica com sistemas que permitam o *freecooling* e a recuperação de calor do ar de rejeição; 2^a) Ventilação mecânica com sistemas que permitam apenas a recuperação de calor do ar de rejeição; 3^a) Ventilação mecânica com sistemas que permitam apenas o *freecooling*; 4^a) Ventilação mecânica sem sistemas economizadores; 5^a) Ventilação híbrida; e 6^a) Ventilação natural.

Conclui-se que, a nível das necessidades para as funções de climatização e de ventilação, a estratégia de renovação do ar interior recomendada será a ventilação mecânica com *freecooling* e a recuperação de calor do ar de rejeição. No entanto, a ordenação anterior poderá sofrer alterações significativas quando a comparação for efetuada em termos de consumos de energia. Isto porque os equipamentos normalmente utilizados para efetuar as funções de aquecimento, de arrefecimento e a ventilação têm eficiências energéticas muito distintas entre si.

Para poder comparar consumos de energia é necessário selecionar os equipamentos que irão assegurar as funções de climatização e de ventilação. Conforme já foi descrito anteriormente, o sistema de aquecimento e de arrefecimento assenta num Chiller/Bomba de calor com $COP = 4$ em aquecimento e $EER = 3$ em arrefecimento. Para os ventiladores assume-se uma eficiência $\varepsilon_v = 0,8$. Dividindo as necessidades de energia (energia útil) pelas respetivas eficiências obtêm-se os consumos pelos equipamentos (energia final).

Apresentam-se na Figura 3.4 e na Tabela 3.8 os consumos de energia, para as funções de climatização e de ventilação, determinados para as diferentes estratégias de renovação do ar interior consideradas. Mais uma vez a variação indicada na Tabela 3.8 é determinada em relação à estratégia de ventilação selecionada como referência para efeitos de comparação, a ventilação mecânica sem sistemas economizadores de energia.

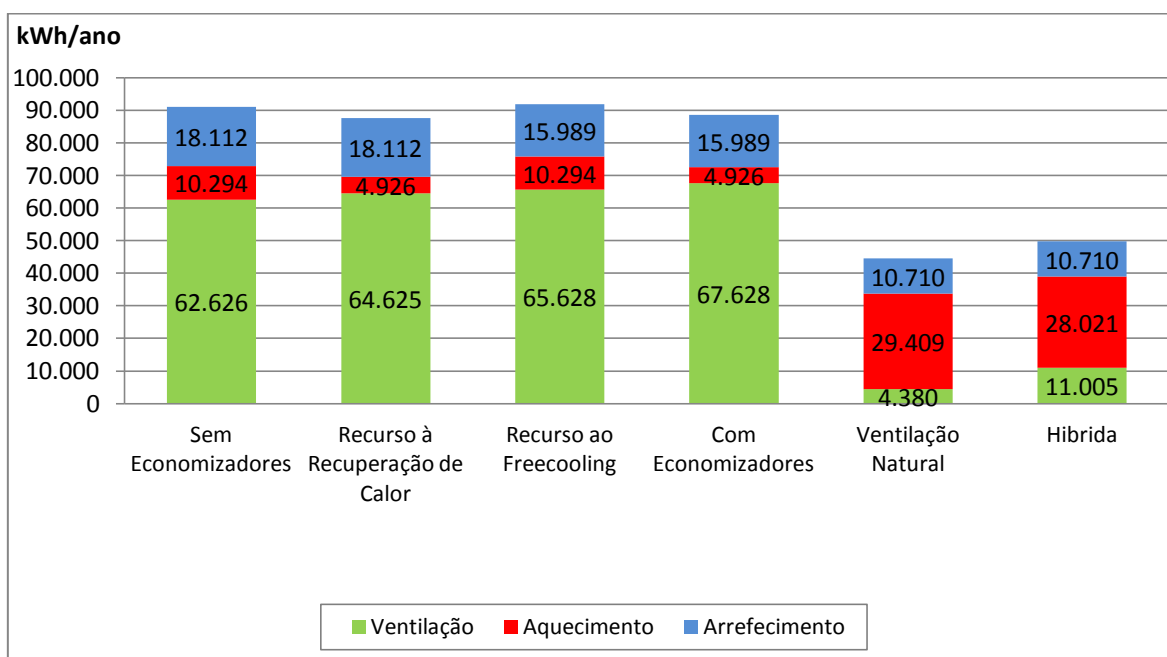


Figura 3.4 – Consumo de energia para a ventilação, o aquecimento e o arrefecimento para as diferentes estratégias de renovação do ar interior do edifício:

Sem economizadores → Ventilação mecânica simples; Recurso à recuperação de calor → Ventilação mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição; Recurso ao *freecooling* → Ventilação mecânica com possibilidade de *freecooling*; Com economizadores → Ventilação mecânica com recuperação de calor e com *freecooling*; Ventilação natural → Ventilação natural; Híbrida → Ventilação híbrida.

Tabela 3.8 – Consumos anuais de energia previstos para as diferentes estratégias de ventilação.

Estratégia de ventilação	Aquec. [kWh/ano]	Arrefec. [kWh/ano]	Ventilação [kWh/ano]	Total [kWh/ano]	Variação
Sem economizadores	10 294	18 112	62 626	91 032	-
Recuperação de calor	4 926	18 112	64 625	87 663	-3,7 %
<i>Freecooling</i>	10 294	15 989	65 628	91 911	+1,0 %
Com economizadores	4 926	15 989	67 628	88 543	-2,7 %
Ventilação natural	29 409	10 710	4 380	44 499	-51,1 %
Ventilação híbrida	28 021	10 710	11 005	49 736	-45,4 %

Da análise dos valores que constam na Figura 3.4 e na Tabela 3.8 ressaltam os elevados consumos de energia associados aos sistemas de ventilação mecânica. O facto de as máquinas de fluxo terem uma eficiência muito inferior à do equipamento de produção de calor e de frio leva a que os consumos de energia relacionados com a ventilação ganhem relevância em detrimento dos associados à climatização. Para além disto, os ventiladores funcionam em contínuo enquanto o aquecimento e o arrefecimento só é efetuado quando é necessário. Por outro lado, as características passivas do edifício levam a que as necessidades de climatização sejam moderadas.

Debruçando-nos sobre os consumos da ventilação mecânica verificamos que estes não variam muito. Existe um contínuo funcionamento dos ventiladores, devido à tipologia do edifício, e o uso de ventiladores associado aos economizadores agrava esse consumo, apesar de termos consumos de aquecimento e arrefecimento mais baixos. Os valores previstos, quando existem dispositivos de recuperação de calor do ar de rejeição, revelam uma redução mais expressiva de que quando utilizado em simultâneo com o *freecooling*. O aumento significativo do consumo dos ventiladores no *freecooling* é a razão para tal se suceder.

Em termos dos consumos de energia para as funções de aquecimento, de arrefecimento e de ventilação, as estratégias de ventilação podem ordenar-se (da melhor para a pior): 1^a) Ventilação natural; 2^a) Ventilação híbrida; 3^a) Ventilação mecânica com sistemas que permitam apenas a recuperação de calor do ar de rejeição; 4^a) Ventilação mecânica com sistemas que permitam o *freecooling* e a recuperação de calor do ar de rejeição; 5^a) Ventilação mecânica sem sistemas economizadores; e 6^a) Ventilação mecânica com sistemas que permitam apenas o *freecooling*. Conclui-se que da classificação em função dos consumos resulta uma ordenação completamente diferente da correspondente em função das necessidades.

As estratégias de ventilação baseadas em sistemas completamente mecânicos devem ser evitadas, pois apresentam consumos muito elevados. Aparentemente, a estratégia de renovação do ar interior do edifício seria a ventilação natural. No entanto, à ventilação natural está associada uma certa incapacidade de controlar a renovação de ar de modo a mantê-la dentro dos limites recomendados, o que leva a períodos com uma QAI deficiente e outros em que é muito difícil garantir um nível aceitável de conforto. Face a

isto, a estratégia de renovação do ar interior a implementar deverá ser a baseada em ventilação híbrida.

Aos consumos de energia para climatização e ventilação acresce, de igual forma para todas as estratégias de renovação do ar, os consumos pertencentes aos equipamentos, com a iluminação e devidos à preparação de AQS. Apresentam-se na Figura 3.5 e na Tabela 3.9 os consumos de energia do edifício para as várias funções (pelos equipamentos, pela iluminação, para preparação de AQS, pela ventilação, para aquecimento e para arrefecimento), previstos para as diferentes estratégias de renovação do ar interior consideradas. Mais uma vez a variação indicada na

Tabela 3.9 é determinada em relação à estratégia de ventilação selecionada como referência para efeitos de comparação, a ventilação mecânica sem sistemas economizadores de energia.

Em termos relativos, as várias estratégias de ventilação mantêm a sua ordenação pois os consumos que agora se acrescentam (pelos equipamentos, pela iluminação, para preparação de AQS) são independentes do modo como a renovação do ar interior do edifício é efetuada. No entanto dá para observar a importância relativa dos consumos de energia pelos equipamentos e pela iluminação artificial, os quais representam sempre mais do 50% do consumo total. É notória a importância de equipar o edifício com equipamentos e sistemas de iluminação artificial energeticamente eficientes.

Em virtude de, muito provavelmente, um edifício deste tipo não estar sujeito a uma tarifa de eletricidade constante ao longo do dia leva a que a conversão de consumos de energia em gastos não seja imediata. Por exemplo, as necessidades de iluminação ocorrem essencialmente á noite, quando a tarifa costuma ser mais baixa. Por sua vez, os consumos de energia pelos equipamentos costumam ocorrer nas horas em que a tarifa é mais elevada.

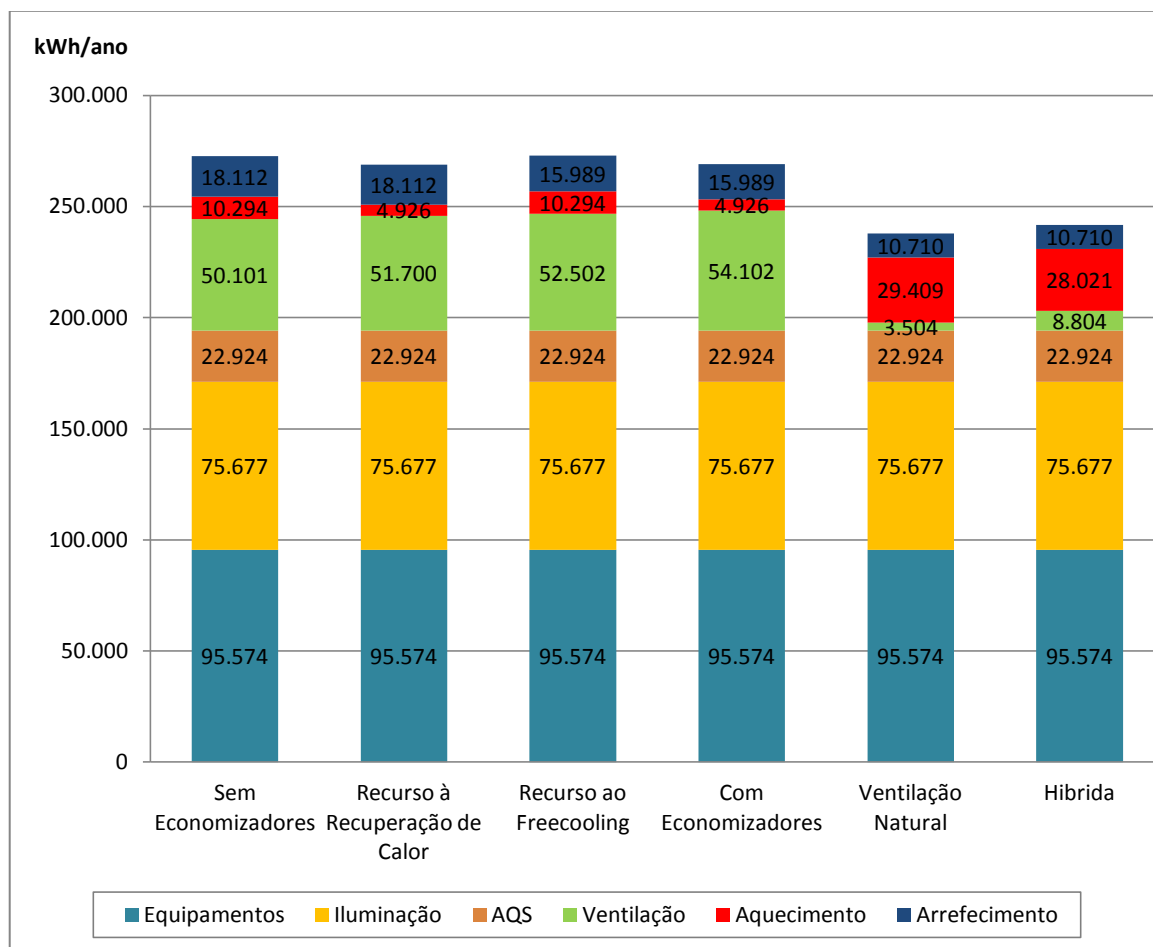


Figura 3.5 – Consumos anuais de energia pelo edifício das diferentes estratégias de ventilação:

Sem economizadores → Ventilação mecânica simples; Recurso à recuperação de calor → Ventilação mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição; Recurso ao *freecooling* → Ventilação mecânica com possibilidade de *freecooling*; Com economizadores → Ventilação mecânica com recuperação de calor e com *freecooling*; Ventilação natural → Ventilação natural; Híbrida → Ventilação híbrida.

Tabela 3.9 – Consumos totais de energia previstos para o edifício.

Estratégia de ventilação	Consumos totais de energia final [kWh/ano]	Redução (-)/Aumento (+) [%]
Sem Economizadores	285 207	-
Recuperação de Calor	281 838	-1,18
<i>Freecooling</i>	286 086	+0,31
Com Economizadores	282 718	-0,87
Ventilação Natural	215 750	-24,35
Ventilação Híbrida	222 375	-22,03

Se fizermos uma análise em termos monetários verificamos que a situação que nos permite ter uma maior poupança, apenas dentro dos sistemas de ventilação mecânica, será coincidente com aquela onde se verificaram reduções nos consumos totais de energia, ou seja, a recuperação de calor. Mas há que ter em atenção que podem ser aplicadas outras tarifas de consumo. Isto é, o *freecooling* funcionará maioritariamente durante a noite, em horário de horas vazio e super-vazio onde o custo de energia (kWh) é mais baixo. Ou seja, se a comparação entre as várias estratégias de ventilação mecânica for efetuada em termos de gastos, em vez de em termos de consumos, as diferenças entre elas podem não ser suficientemente relevantes para se poder descortinar qual é a preferível.

Independentemente do regime de tarifa de compra de energia elétrica a que o edifício estiver sujeito, a estratégia de renovação do ar baseada em ventilação híbrida é a que apresenta menores gastos, logo deve ser esta a selecionada.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho analisou-se a relação entre o consumo de energia e a estratégia de renovação do ar interior dos edifícios de serviços com utilização permanente e baixas cargas térmicas internas. Assumiu-se como alternativas a ventilação puramente mecânica, a ventilação natural e a ventilação híbrida. No caso de ventilação assegurada por sistemas exclusivamente mecânicos, foi analisada a influência de sistemas que normalmente permitem reduzir os consumos de energia para climatização, mais propriamente a recuperação de calor do ar de rejeição e o arrefecimento gratuito (*freecooling*).

A previsão dos caudais de ar associados a cada espaço, do conforto térmico assegurado e dos consumos de energia que lhe estão associados foi efetuada recorrendo ao *software* de simulação da dinâmica energética dos edifícios *EnergyPlus*.

As estratégias de ventilação baseadas em sistemas exclusivamente mecânicos provaram ser as que garantem as melhores condições em termos de QAI e de condições de conforto térmico. No entanto, em termos de consumos energéticos são muito mais exigentes do que as que recorrem a ventilação natural ou a ventilação híbrida. Isto é o resultado das grandes necessidades de ventilação que exigem e da relativa ineficiência dos ventiladores quando comparada com os equipamentos de produção calor e frio do tipo *Chiller/Bomba de calor*. O recurso a sistemas de economia de energia para climatização baseados em *freecooling* e na recuperação de calor do ar de rejeição nem sempre são benéficos para esta tipologia de edifícios. Em termos de consumos, quando promovem melhorias são sempre muito pouco significativas. Isto está relacionado com o facto de se elevarem substancialmente os consumos de energia com a ventilação e, no caso do *freecooling*, existirem poucos espaços em que se pode aplicar, pois nos espaços com ocupação noturna a ventilação já existe neste período do dia.

Relativamente à ventilação natural, apesar de ser um processo simples e que pode permitir poupanças quer em termos energéticos quer em termos de custos de aquisição de equipamentos e de manutenção, quando comparado com a ventilação mecânica, é ainda assim, um desafio quando chega a hora de a projetar. As taxas de renovação de ar são muito dependentes das condições atmosféricas exterior, levando a

grandes flutuações do seu valor e nem sempre se aproximavam das recomendadas, podendo por em causa a QAI numas alturas e o conforto térmico noutras. A este fator à que somar o desconforto provocado pela deslocação do ar no interior dos espaços quando muito superior a 0,2 m/s. Mesmo quando são asseguradas a QAI e condições de conforto numa determinada zona, isso não implica que o mesmo esteja a ser assegurado em todas as zonas, devido à direção do vento.

A estratégia de renovação do ar interior dos edifícios por ventilação híbrida procura juntar o melhor da ventilação natural com o da mecânica. Se for bem projetada, a existência de espaços em que as transferências de ar são garantidas por dispositivos mecânicos leva a uma estabilização global da renovação de ar nas várias zonas do edifício. Deste modo consegue-se garantir uma boa QAI em todas as zonas do edifício sem consumos exagerados de energia com a ventilação. No caso do presente edifício, a renovação de ar por ventilação híbrida provou ter consumos muito inferiores às estratégias baseadas exclusivamente em equipamentos mecânicos de ventilação. Em relação à ventilação natural leva a um consumo superior, mas a diferença não é muito significativa. O seu bom comportamento em termos energéticos e a sua razoável capacidade em garantir um boa QAI e aceitáveis condições de conforto torna a ventilação híbrida como a mais recomendável para estratégia de renovação do ar interior do edifício em apreço. No mesmo sentido aponta o facto de, independentemente do regime de tarifa de compra de energia elétrica a que o edifício estiver sujeito, a ventilação híbrida ser a que apresenta menores gastos, logo também sobre este aspeto ela se apresenta como vantajosa relativamente às restantes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Directiva 2010/31/EU (2010), “Directiva Europeia relativa ao desempenho energético de edifícios (reformulada)”, Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 19 de Maio de 2010.
- [2] European Commission’s communication (2010), “Energy 2020 - A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy”, 10 November 2010.
- [3] ADENE (2004), “Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial”.
- [4] Instituto Nacional de Estatística (2009), “Projeções de população residente em Portugal - 2008 - 2060”, <http://www.ine.pt>. Acedido em 2 de Abril de 2012
- [5] Esteves, P., Fonseca, P., Almeida, A. e Nunes, U. (2011), “EU Comprehensive document on energy efficiency in Residential Care Homes for Elderly”, SAVE AGE Project, IEE/09/676/SI2.558233.
- [6] Directiva 2002/91/EU (2002), “Directiva Europeia relativa ao desempenho energético de edifícios”, Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 16 de Dezembro de 2002.
- [7] SCE (2006), “Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios”, Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de Abril, Diário da República, Portugal.
- [8] RSECE (2006), “Regulamento dos sintomas Energéticos de Climatização em Edifícios”, Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril, Diário da República, Portugal.
- [9] RCCTE (2006), “Regulamento dos sintomas Energéticos de Climatização em Edifícios”, Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril, Diário da República, Portugal.
- [10] Raimundo, A. M., Gaspar A.R. e Lamas, F.B. (2011), “Modulo técnico de RCCTE”, Cursos de formação SCE do Departamento de Engenharia Mecânica – FCTUC, Coimbra, Portugal.
- [11] Raimundo, A. M., Gaspar A.R., Lamas, F.B. e Costa, J.J. (2011), “Modulo técnico de RSECE – Energia”, Cursos de formação SCE do Departamento de Engenharia Mecânica – FCTUC, Coimbra, Portugal.
- [12] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. et al. (2008), “A review on buildings energy consumption information.”, *Energy and Buildings* 40(3): 394-398.
- [13] Geros, V., Santamouris, M. et al. (1999), “Experimental evaluation of night ventilation phenomena.”, *Energy and Buildings* 29(2): 141-154.
- [14] Mateus, D. (2011), “Análise da influência da inércia térmica no desempenho energético dos edifícios de serviços”, Dissertação de mestrado (MIEM), FCTUC, Portugal.
- [15] Raimundo, A. M., Cardoso, O. N. (2011), “Aplicação da ventilação híbrida na

- renovação do ar de edifícios não residências com ocupação permanente”, CIBEM 10 - 10º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, Porto, Portugal, 4 - 7 de Setembro, 2011.
- [16] Ponte, B. O. (2010), “Estudo do desempenho dos sistemas de ventilação híbrida na renovação do ar de lares da terceira idade”, Dissertação de mestrado (MIEM), FCTUC, Portugal.
- [17] Silva, C. D. (2011), “Influência da metodologia de determinação dos caudais de ar novo nos custos de investimento e exploração do sistema de AVAC de um edifício escolar”, Dissertação de mestrado (MIEM), FCTUC, Portugal.
- [18] EnergyPlus (2012), “EnergyPlus - Energy Simulation Software”, DOE - Department of Energy, United States of America, www.energyplus.gov.
- [19] ANSI/ASHRAE 140-2004 (2004), “Standard method of test for evaluation of building energy analysis computer Programs”, Atlanta, USA.
- [20] IM (2001), “Normais climatológicas de Coimbra”, Instituto de Meteorologia de Portugal. <http://www.meteo.pt/pt/oclima/clima.normais/>. Acedido em 5 de Março de 2012.
- [21] Roriz, L. (2007), “Climatização, Concepção, Instalação e Condução de Sistemas”, Mafra, Edições Orion.
- [22] Santos, M. M. (2011), “Propagação de poluentes no interior de um edifício de serviços e sua relação com o sistema de ventilação e com localização da fonte”, Dissertação de mestrado (MIEM), FCTUC, Portugal.
- [23] Santos, C. A. P. e Matias, L. (2006), “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ITE 50”, Lisboa, LNEC.
- [24] NP-1037, Ventilação e evacuação dos produtos de combustão dos locais com aparelhos a gás (Parte 1 – edifícios de habitação – ventilação natural. Parte 2 – edifícios de habitação – ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples. Parte 3 – volume dos locais – posicionamento dos aparelhos a gás. Parte 4 – instalação e ventilação das cozinhas profissionais), Norma Portuguesa, Parte I (2002), Parte 2 (2008), Parte 3 (2002), Parte 4 (2001).
- [25] EN 13799 (2007), Ventilation for non-residential buildings – performance requirements for ventilation and room-conditioning systems, European standard, CEN/TC 156/2007.
- [26] Lamas, F. B. (2011), “Apontamentos da disciplina de Projecto de Sistemas Energéticos”, Curso de mestrado (MIEM), FCTUC, Portugal.
- [27] ASHRAE (2005), Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, USA.
- [28] Swami M.V. e Chandra S. (1988), “Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow”, ASHRAE Transactions 1988; 94:243–66.
- [29] Swami, H.V. e Chandra, S. (1987), “Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings”, Final Report FSEC-CR-163-86, Solar Energy Center, Cape Canaveral, Florida.

- [30] 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, International Standards Organization, Geneva.
- [31] Fanger, P.O. (1973), “Thermal Comfort: Analysis and Application in Environmental Engineering”. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [32] Gagge, A.P., Burton, A.C. e Bazett, H.C. (1941), “A practical system of units for the description of heat exchange of man with his environment”, Science 94, 428-430.
- [33] Schild, P. G. (2004), "AIVC Ventilation Information Paper nº6: Air-to-Air Heat Recovery in Ventilation Systems." Norwegian Research Institute.
- [34] Silva, F.P. (2008), “Impacto energético de ventilação mecânica e recuperação de calor em edifícios residenciais de Portugal”, Dissertação de mestrado (MIEM), FEUP, Portugal.
- [35] Blondeau, P., Sperandio, M. e Alland, F. (1997), “Night ventilation for building cooling summer”, Solar Energy 61(5), 327-335.
- [36] Givoni, B. (1998), “Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperature. Part I: 1993 experimental periods”, Energy and Buildings 28 (1), 25-32.

ANEXO A – CARATERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

A 1 – Alçados e plantas do edifício

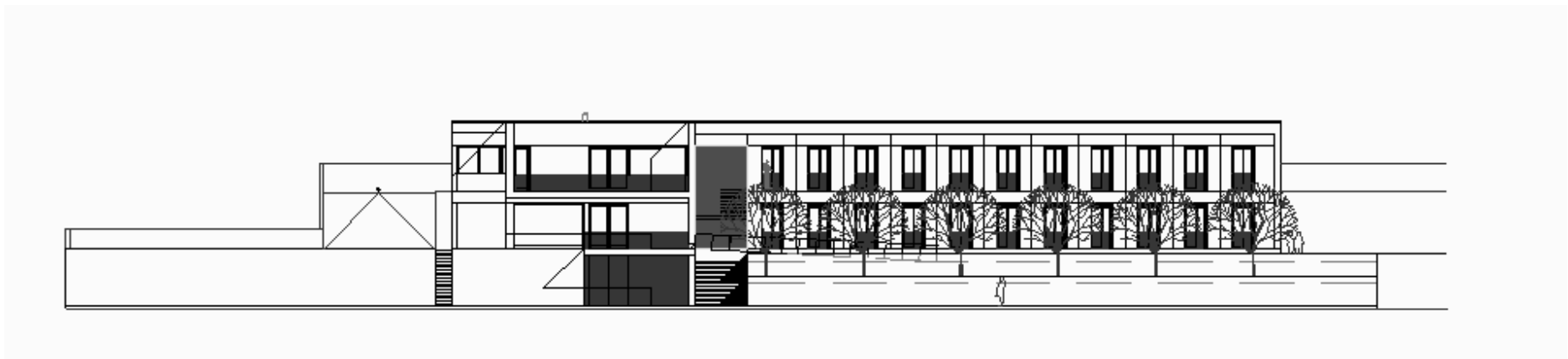


Figura A.1 – Alçado principal



Figura A.2 – Alçado posterior.

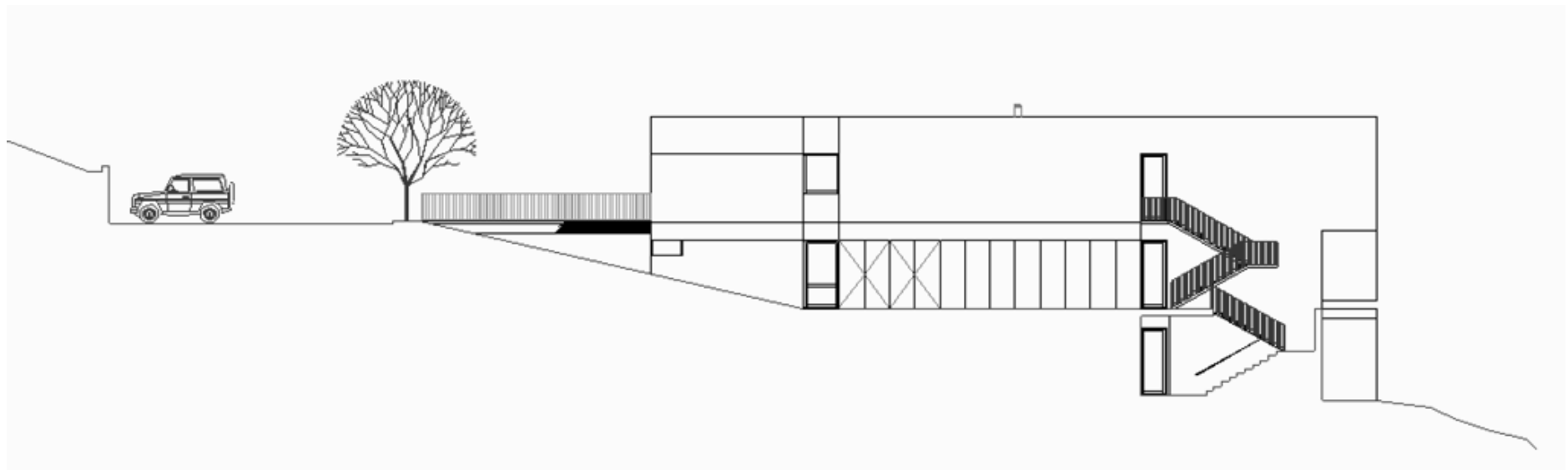


Figura A.3 – Alçado noroeste.

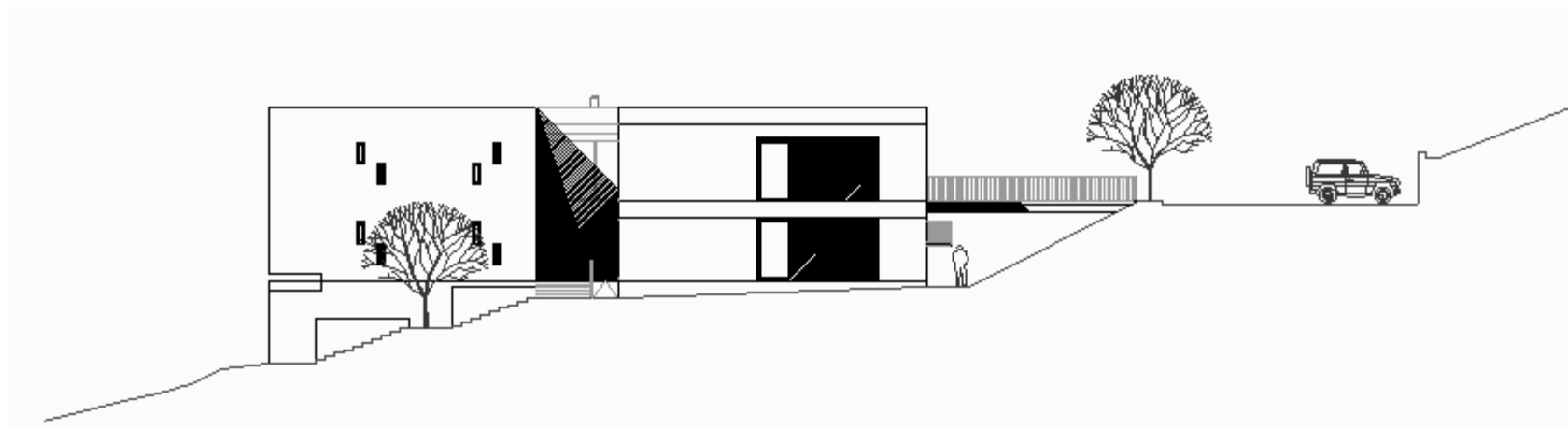


Figura A.4 – Alçado sudoeste

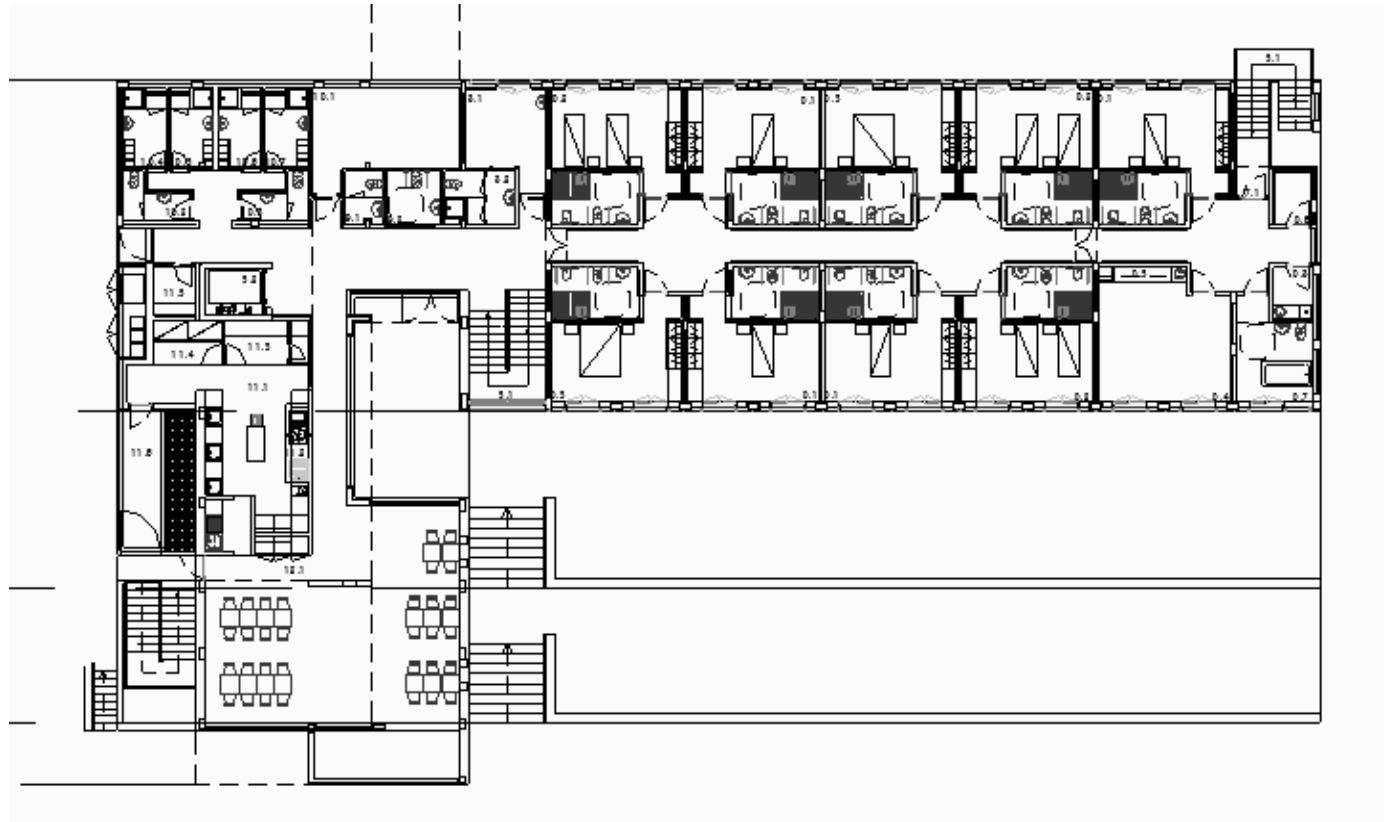


Figura A.5 – Planta do rés-do-chão.

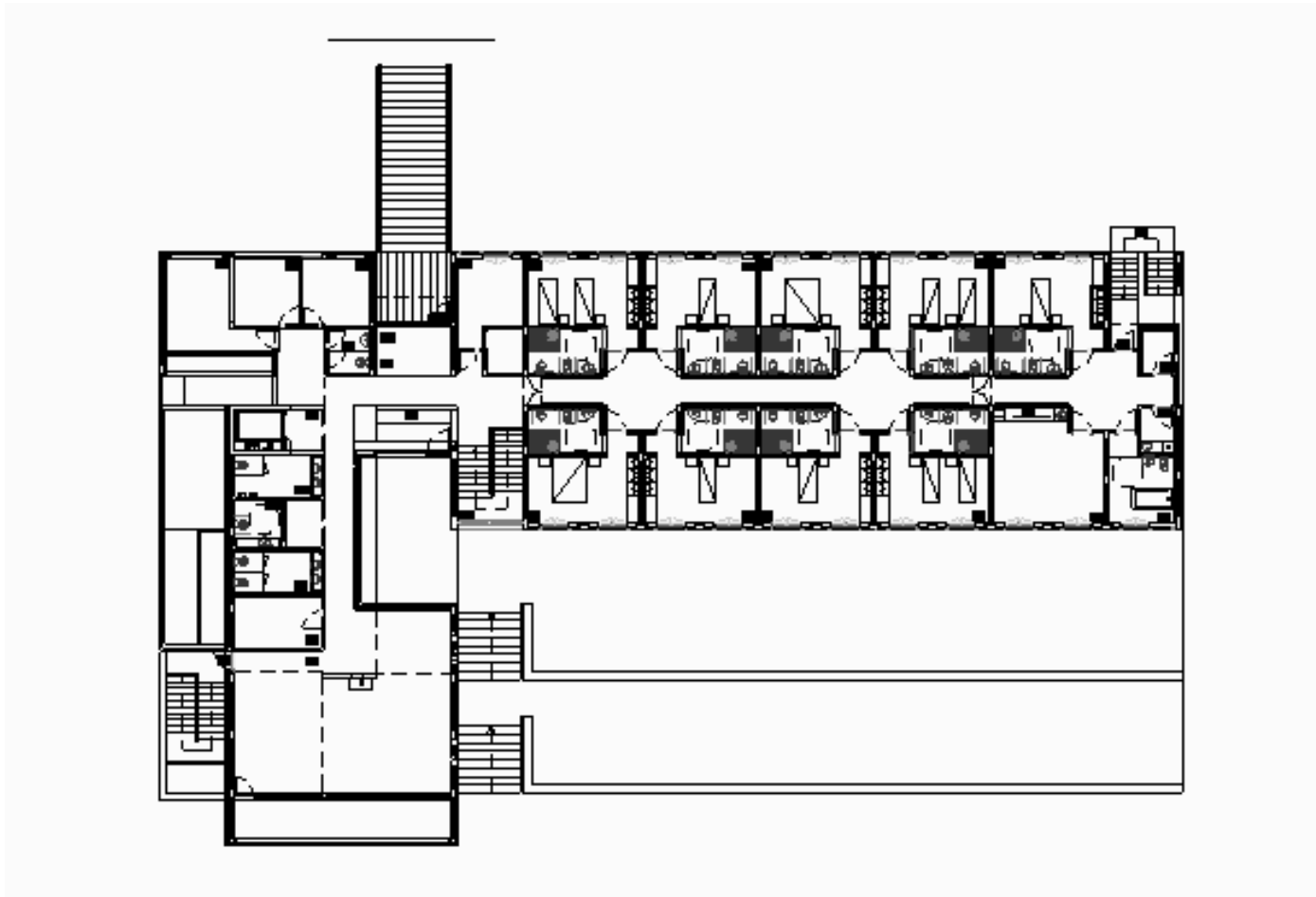


Figura A.6 – Planta do 1º andar.

A 2 – Levantamento/caudais do edifício

Tabela A.1 – Levantamento e Caudais dos espaços do edifício.

Pis o	Descrição				Ocupação			Ganhos Iluminação		Ganhos Equipamento		Caudal					
	Zona	ID	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]	Nº ocup.	m ² /ocup.	Ocup./m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²	m ³ /(h.ocup.)	m ² /(h.m ²)	m ³ /h	Efic	Caudal efec. [m ³ /h]
-1	1		Expediente	36,72	3,00				0,18	5,00				5,00	183,60	0,8	229,50
-1	1		Elevador	4,49	3,00				0,02	5,00				15,00	67,35	0,8	84,19
-1	1		Roupa suja	5,60	3,00	1			0,03	5,00				15,00	84,00	0,8	105,00
-1	1		Roupa lavada	5,84	3,00	1			0,03	5,00				15,00	87,60	0,8	109,50
-1	1		Arrecadação	3,77	3,00				0,02	5,00				5,00	18,85	0,8	23,56
-1	1		Arrecadação Grande	38,39	3,00				0,12	3,00				5,00	191,95	0,8	239,94
-1	1		Circulação	58,32	3,00				0,17	3,00				5,00	291,60	0,8	364,50
-1	1		Grupo de emergência	9,15	3,00				0,03	3,00		5,00			0,00	0,8	0,00
-1	1		Caldeiras	20,83	3,00				0,06	3,00		5,00			0,00	0,8	0,00
-1	1	1.1	Subterrâneo	183,11	3,00	2	91,56	0,01	0,66	3,62	0,15	0,82		5,05	924,95	0,8	1156,19
0	1		Sala de estar	27,00	3,00	8			0,19	7,00	0,14	5,00	30	15,00	405,00	0,8	506,25
0	1	0.1	Sala de estar	27,00	3,00	8	3,38	0,30	0,19	7,00	0,14	5,00	30	15,00	405,00	0,8	506,25
0	2		Quarto simples	25,73	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	30		60,00	0,8	75,00
0	2	0.2	Quarto	25,73	3,00	2	12,87	0,08	0,18	7,00	0,13	5,00	30		60,00	0,8	75,00
0	3		Quarto duplo	26,09	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	3		Quarto casal	25,07	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50

Pis o	Descrição				Ocupação			Ganhos Iluminação		Ganhos Equipamento		Caudal					
	Zona	ID	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]	Nº ocup.	m ² /ocup.	Ocup./m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²	m ³ /(h.ocup.)	m ³ /(h.m ²)	m ³ /h	Efic	Caudal efec. [m ³ /h]
0	3		Quarto simples	26,09	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	3		Quarto duplo	25,95	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	3	0.3	Quartos + I.S.	103,20	3,00	8	12,90	0,08	0,72	7,00	0,52	5,00	45		360,00	0,8	450,00
0	4		Circulação	66,78	3,00	2			0,33	5,00				5,00	333,90	0,8	417,38
0	4		Inst. Sanitárias	11,14	3,00				0,06	5,00				15,00	167,10	0,8	208,88
0	4		Sujos (is)	3,30	3,00				0,02	5,00				15,00	49,50	0,8	61,88
0	4		Rouparia	3,10	3,00				0,02	5,00				0,00	0,00	0,8	0,00
0	4	0.4	Circulação + I.S.	84,32	3,00	2	42,16	0,02	0,42	5,00	0,00	0,00		6,53	550,50	0,8	688,13
0	5		Quarto duplo	26,13	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	5		Quarto simples	26,11	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	5		Quarto simples	26,13	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	5		Quarto casal	25,95	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
0	5	0.5	Quartos + I.S.	104,32	3,00	8	13,04	0,08	0,73	7,00	0,52	5,00	45	0,00	360,00	0,8	450,00
0	6		Sala pessoal	20,26	3,00	3			0,14	7,00	0,10	5,00	35	5,00	105,00	0,8	131,25
0	6		Gabinete saúde e WC	17,51	3,00	1			0,12	7,00	0,09	5,00	35	5,00	87,55	0,8	109,44
0	6	0.6	Sala + Gabinete	37,77	3,00	4	9,44	0,11	0,26	7,00	0,19	5,00	35	5,00	192,55	0,8	240,69
0	7		Balneários	5,42	3,00				0,03	5,00				15,00	81,30	0,8	101,63
0	7		Balneários	5,54	3,00				0,03	5,00				15,00	83,10	0,8	103,88
0	7		Balneários	5,54	3,00				0,03	5,00				15,00	83,10	0,8	103,88
0	7		Balneários	5,42	3,00				0,03	5,00				15,00	81,30	0,8	101,63
0	7	0.7	Balneários	21,92	3,00	0			0,11	5,00	0,00	0,00		15,00	328,80	0,8	411,00
0	8		Cozinha	32,54	3,00	3			0,23	7,00	8,14	250,00	60		180,00	0,8	225,00
0	8		Despensa	5,08	3,00				0,02	3,00					0,00	0,8	0,00
0	8		Equi. Refrigeração	2,38	3,00				0,00		0,60	250,00			0,00	0,8	0,00

Pis o	Descrição					Ocupação			Ganhos Iluminação		Ganhos Equipamento		Caudal				
	Zona	ID	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]	Nº ocup.	m ² /ocup.	Ocup./m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²	m ³ /(h.ocup.)	m ³ /(h.m ²)	m ³ /h	Efic	Caudal efec. [m ³ /h]
0	8	0.8	Cozinha	40,00	3,00	3	13,33	0,08	0,24	6,08	8,73	218,25	60		180,00	0,8	225,00
0	9		Sala de refeições	82,24	3,00	32			0,58	7,00			35		1120,00	0,8	1400,00
0	9		Circulação		3,00				0,00					5,00	0,00	0,8	0,00
0	9	0.9	Sala de refeições	82,24	3,00	32	2,57	0,39	0,58	7,00	0,00	0,00	35		1120,00	0,8	1400,00
0	10		Inst. Sanitárias	4,68	3,00				0,02	5,00				15,00	70,20	0,8	87,75
0	10		Inst. Sanitárias	3,14	3,00				0,02	5,00				15,00	47,10	0,8	58,88
0	10		Inst. Sanitárias	3,85	3,00				0,02	5,00				15,00	57,75	0,8	72,19
0	10		Inst. Sanitárias	3,86	3,00				0,02	5,00				15,00	57,90	0,8	72,38
0	10		Circulação	78,18	3,00	2			0,39	5,00				5,00	390,90	0,8	488,63
0	10		Arrumos limpeza	3,80	3,00				0,01	3,00					0,00	0,8	0,00
0	10		Elevador	4,49	3,00				0,02	5,00				15,00	67,35	0,8	84,19
0	10	0.10	Escadas + I.S. + Elev. + Circ.	102,00	3,00	2	51,00	0,02	0,50	4,93	0,00	0,00		6,78	691,20	0,8	864,00
1	1		Sala de estar	27,00	3,00	8			0,19	7,00	0,14	5,00	30	15,00	405,00	0,8	506,25
1	1	1.1	Sala de estar	27,00	3,00	8	3,38	0,30	0,19	7,00	0,14	5,00	30	15,00	405,00	0,8	506,25
1	2		Quarto simples	25,73	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	30		60,00	0,8	75,00
1	2	1.2	Quarto	25,73	3,00	2	12,87	0,08	0,18	7,00	0,13	5,00	30		60,00	0,8	75,00
1	3		Quarto duplo	26,09	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	3		Quarto casal	25,07	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	3		Quarto simples	26,09	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	3		Quarto duplo	25,95	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	3	1.3	Quartos + I.S.	103,20	3,00	8	12,90	0,08	0,72	7,00	0,52	5,00	45		360,00	0,8	450,00
1	4		Circulação	66,78	3,00	2			0,33	5,00				5,00	333,90	0,8	417,38
1	4		Inst. Sanitárias	11,14	3,00				0,06	5,00				15,00	167,10	0,8	208,88

Pis o	Descrição				Ocupação			Ganhos Iluminação		Ganhos Equipamento		Caudal					
	Zona	ID	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]	Nº ocup.	m ² /ocup.	Ocup./m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²	m ³ /(h.ocup.)	m ³ /(h.m ²)	m ³ /h	Efic	Caudal efec. [m ³ /h]
1	4		Sujos	3,30	3,00				0,02	5,00				15,00	49,50	0,8	61,88
1	4		Rouparia	3,10	3,00				0,02	5,00				0,00	0,00	0,8	0,00
1	4	1.4	Circulação + I.S. + Sujos	84,32	3,00	2	42,16	0,02	0,42	5,00	0,00	0,00		6,53	550,50	0,8	688,13
1	5		Quarto duplo	26,13	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	5		Quarto simples	26,11	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	5		Quarto simples	26,13	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	5		Quarto casal	25,95	3,00	2			0,18	7,00	0,13	5,00	45		90,00	0,8	112,50
1	5	1.5	Quartos + I.S.	104,32	3,00	8	13,04	0,08	0,73	7,00	0,52	5,00	45		360,00	0,8	450,00
1	6		Material e equipamento	15,71	3,00				0,08	5,00	0,08	5,00		0,00	0,00	0,8	0,00
1	6	1.6	Material e equipamento	15,71	3,00	0			0,08	5,00	0,08	5,00		0,00	0,00	0,8	0,00
1	7		Sala reuniões	20,71	3,00	4			0,14	7,00	0,21	10,00	35	5,00	140,00	0,8	175,00
1	7		Gabinete diretor	9,91	3,00	1			0,07	7,00	0,10	10,00	35	5,00	49,55	0,8	61,94
1	7		Gabinete administrativo	10,23	3,00	1			0,07	7,00	0,10	10,00	35	5,00	51,15	0,8	63,94
1	7	1.7	Gabinetes + Sala reuniões	40,85	3,00	6	6,81	0,15	0,29	7,00	0,41	10,00	35	5,00	240,70	0,8	300,88
1	8		Inst. Sanitárias	8,07	3,00				0,04	5,00				15,00	121,05	0,8	151,31
1	8		Inst. Sanitárias	5,08	3,00				0,03	5,00				15,00	76,20	0,8	95,25
1	8		Inst. Sanitárias	8,28	3,00				0,04	5,00				15,00	124,20	0,8	155,25
1	8		Arrumos mat. Limpeza	10,14	3,00				0,03	3,00				5,00	50,70	0,8	63,38
1	8	1.8	I.S + Arrumos	31,57	3,00				0,14	4,36	0,00	0,00		11,79	372,15	0,8	465,19
1	9		Sala	80,70	3,00	32			0,56	7,00	0,40	5,00	35		1120,00	0,8	1400,00
1	9		Circulação		3,00				0,00					5,00	0,00	0,8	0,00
1	9	1.9	Sala	80,70	3,00	32	2,52	0,40	0,56	7,00	0,40	5,00	35		1120,00	0,8	1400,00

Pis o	Descrição				Ocupação			Ganhos Iluminação		Ganhos Equipamento		Caudal					
	Zona	ID	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]	Nº ocup.	m ² /ocup.	Ocup./m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²	m ³ /(h.ocup.)	m ³ /(h.m ²)	m ³ /h	Efic	Caudal efec. [m ³ /h]
1	10		Elevador	4,49	3,00				0,02	5,00				15,00	67,35	0,8	84,19
1	10		Circulação	93,41	3,00	10			0,47	5,00				5,00	467,05	0,8	583,81
1	10		Inst. Sanitárias	4,31	3,00				0,02	5,00				15,00	64,65	0,8	80,81
1	10	1.10	Elev + Circulação + I.S.	102,21	3,00	10	10,22	0,10	0,51	5,00	0,00	0,00		5,86	599,05	0,8	748,81

A 3 – Soluções construtivas

Tabela A.2 – Composição das Paredes Exteriores.

<i>Parede Exterior</i>	<i>Espessura [m]</i>	<i>Condutibilidade Térmica λ [W/(m.°C)]</i>	<i>Resistência Térmica R [(m².°C)/W]</i>	<i>Densidade ρ [kg/m³]</i>
Exterior (Rse)			0,04	
1 Reboco exterior trad.	0,02	1,30	0,02	1300
2 Tijolo furado de 20	0,2	0,40	0,50	755
3 Espaço de ar EA1	0,01		0,00	1,22
4 XPS	0,04	0,04	1,08	32
5 Tijolo furado de 9	0,09	0,39	0,23	908
6 Argamassa de cal e areia	0,02	0,80	0,03	1600
Interior (Rsi)			0,13	
Espessura total	0,38			
Coeficiente de transmissão térmica - U [W/m.°C]			2,02	

Tabela A.3 – Composição das Paredes Interiores.

<i>Parede Interior</i>	<i>Espessura [m]</i>	<i>Condutibilidade Térmica λ [W/(m.°C)]</i>	<i>Resistência Térmica R [(m².°C)/W]</i>	<i>Densidade ρ [kg/m³]</i>
Interior (Rsi)			0,13	
1 Gesso cartonado	0,01	0,25	0,04	900
2 Tijolo furado de 11	0,11	0,41	0,27	908
3 Lã de Rocha	0,03	0,04	0,75	65
4 Gesso cartonado	0,01	0,25	0,04	900
Interior (Rsi)			0,13	
Espessura total	0,16			
Coeficiente de transmissão térmica - U [W/(m.°C)]			1,36	

Tabela A.4 – Composição do Pavimento em contacto com o solo.

<i>Pavimento em contacto com o solo</i>	<i>Espessura [m]</i>	<i>Condutibilidade Térmica</i> λ [W/(m.°C)]	<i>Resistência Térmica</i> R [(m ² .°C)/W]	<i>Densidade ρ</i> [kg/m ³]
Interior (Rsi)*			0,17/0,10	
1 Mosaico cerâmico	0,01	1,30	0,01	2300
2 Betonilha	0,03	1,30	0,02	1800
3 XPS	0,04	0,04	1,08	32
4 Laje de betão armado	0,28	2,5	0,11	2450
5 Reboco exterior trad.	0,02	1,30	0,02	1900
Exterior (Rse)			0,04	
Espessura total	0,38			
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m.°C)]				
			$U_{descendente}$	0,69
			$U_{ascendente}$	0,73

Tabela A.5 – Composição do Pavimento Interior e de compartimentação.

<i>Pavimento interior</i>	<i>Espessura [m]</i>	<i>Condutibilidade Térmica</i> λ [W/(m.°C)]	<i>Resistência Térmica</i> R [(m ² .°C)/W]	<i>Densidade ρ</i> [kg/m ³]
Interior (Rsi)*			0,17/0,10	
1 Mosaico cerâmico	0,01	1,30	0,01	2300
2 Betonilha	0,03	1,30	0,02	1800
3 XPS	0,04	0,04	1,08	32
4 Laje de betão armado	0,28	2,5	0,11	2450
5 Argamassa de cal e areia	0,02	0,80	0,03	1600
Interior (Rsi)			0,17/0,10	
Espessura total	0,38			
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m.°C)]				
			$U_{descendente}$	0,63
			$U_{ascendente}$	0,69

Tabela A.6 – Composição da Cobertura.

Cobertura	Espessura [m]	Condutibilidade Térmica λ [W/(m.°C)]	Resistência Térmica R [(m ² .°C)/W]	Densidade ρ [kg/m ³]
Exterior (Rse)			0,04	
1 Seixo	0,01	1,30	0,01	2300
2 Betonilha	0,03	1,30	0,02	1800
3 XPS	0,04	0,04	1,08	32
4 Laje de betão armado	0,28	2,5	0,11	2450
5 Reboco exterior trad.	0,02	1,30	0,02	1900
Interior (Rsi)*			0,17/0,10	
Espeçura total	0,38			
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m.°C)]				
			0,69	
			0,73	

(*) Os valores representam a resistência térmica referente ao sentido do fluxo de calor, descendente/ascendente.

A 4 – Perfis de ocupação

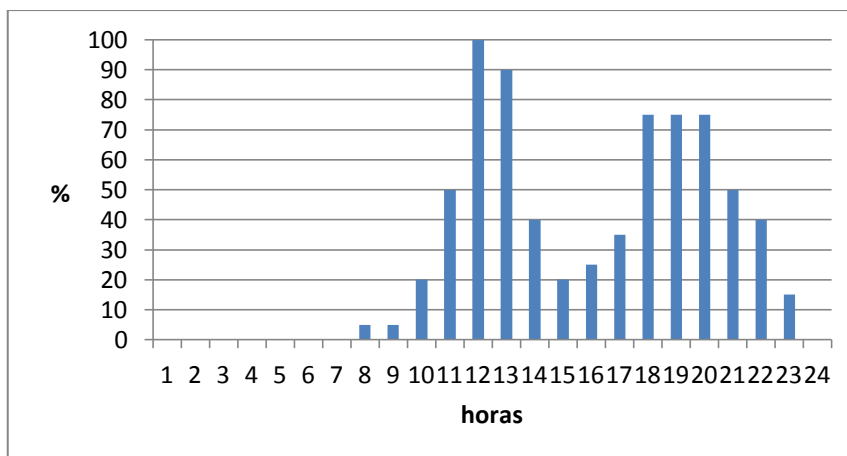


Figura A.7 – Perfil de ocupação da sala de refeições.

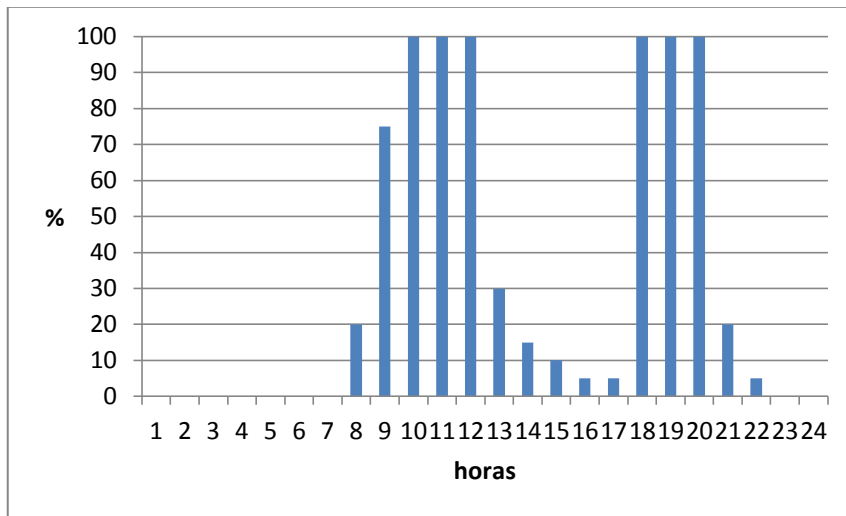


Figura A.8 – Perfil de ocupação da cozinha.

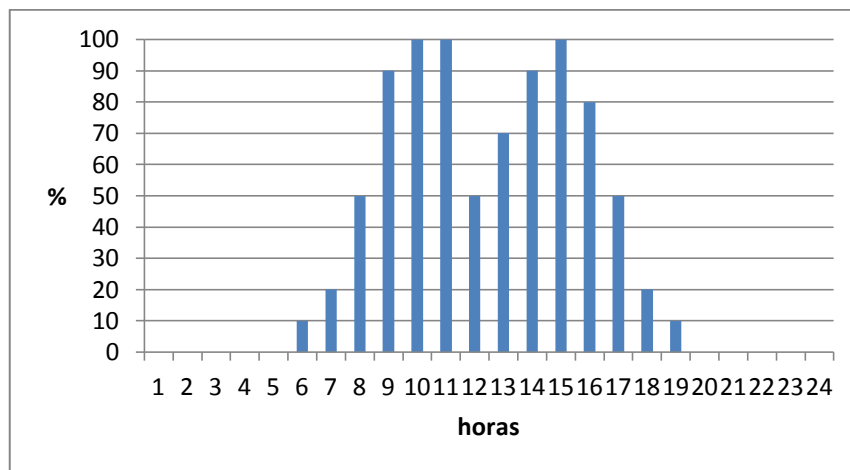


Figura A.9 – Perfil de ocupação dos gabinetes.

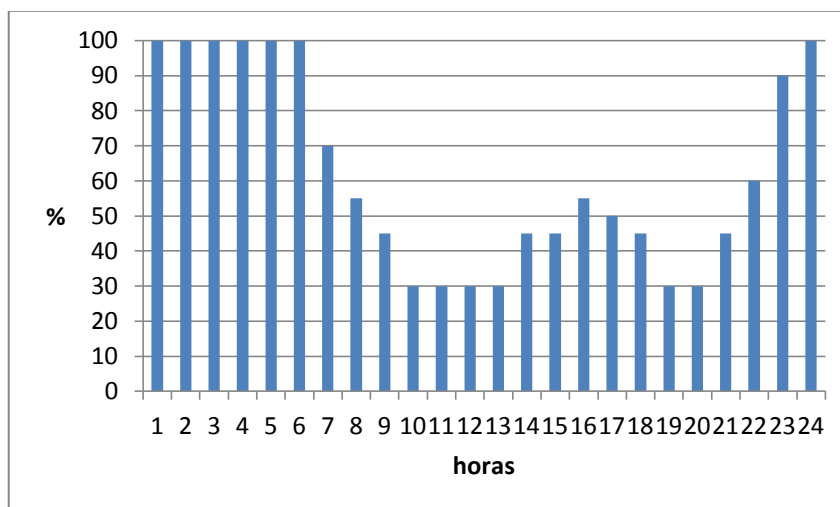


Figura A.10 – Perfil de ocupação dos quartos.

ANEXO B – DADOS CLIMÁTICOS DO LOCAL

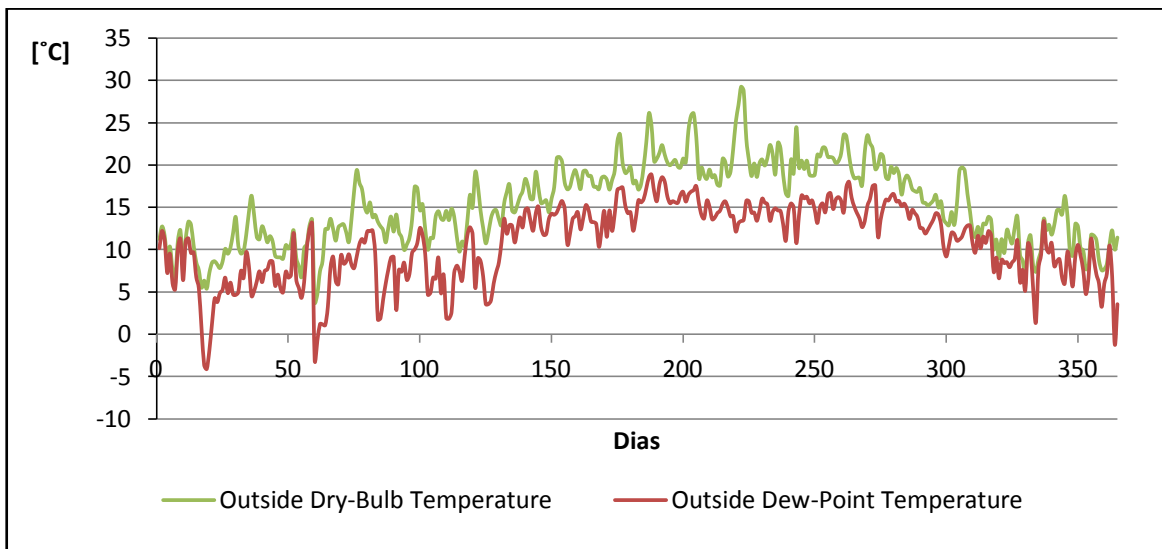


Figura B.1 – Dados climatéricos do local.

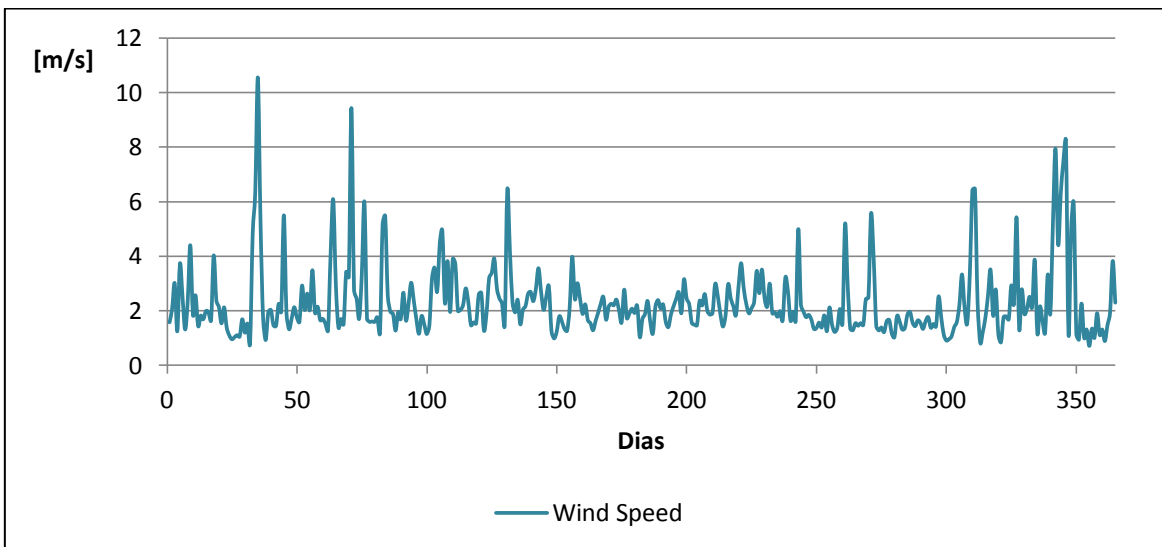


Figura B.2 – Dados climatéricos do local.

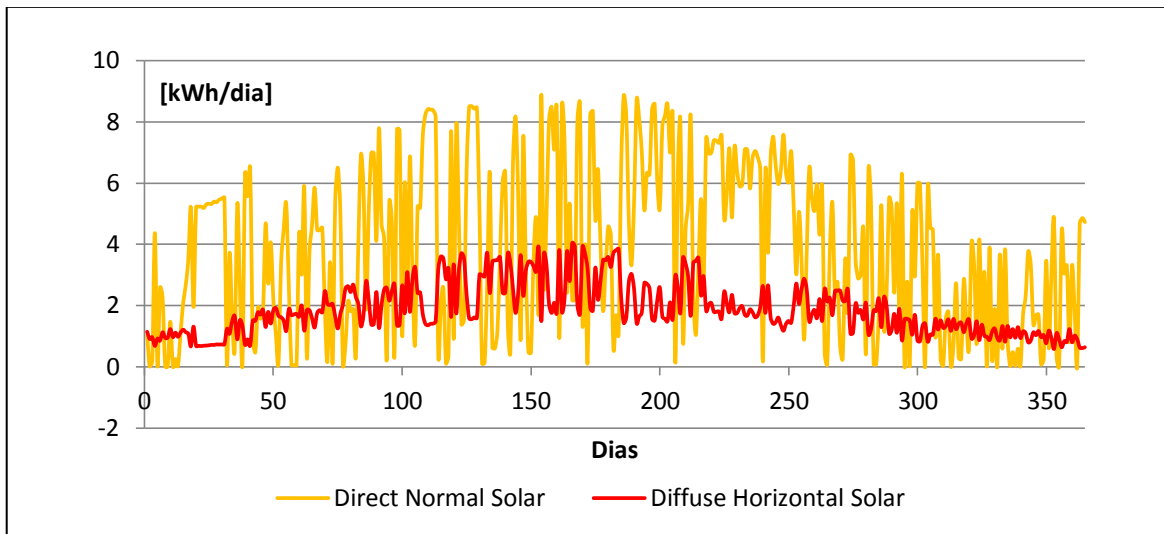


Figura B.3 – Dados climatéricos do local.

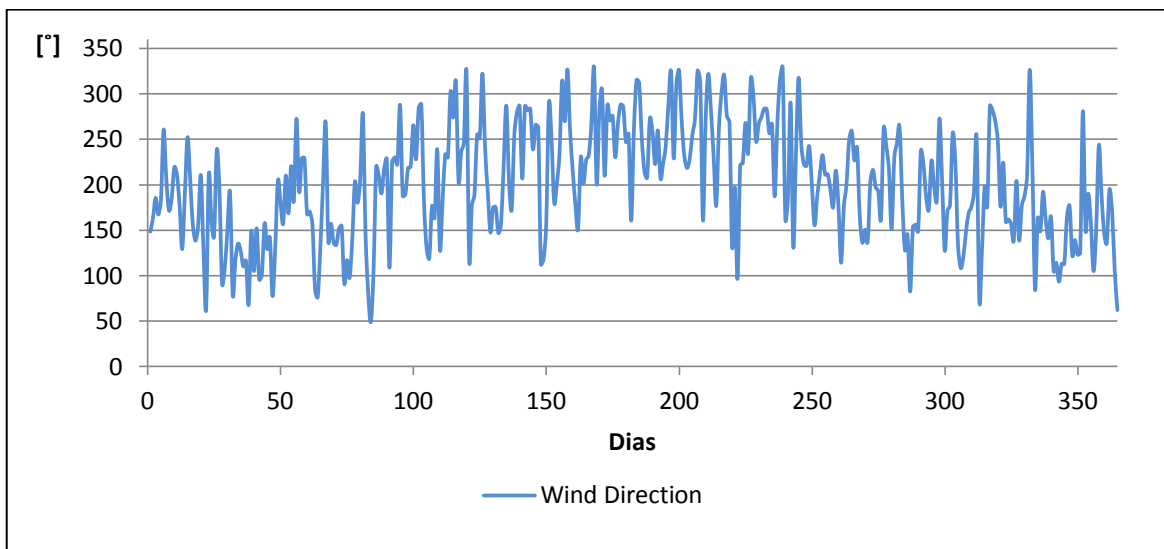


Figura B.4 – Dados climatéricos do local.

ANEXO C – NECESSIDADES E CONSUMO

C 1 - Necessidades Aquecimento/Arrefecimento (Ventilação Natural)

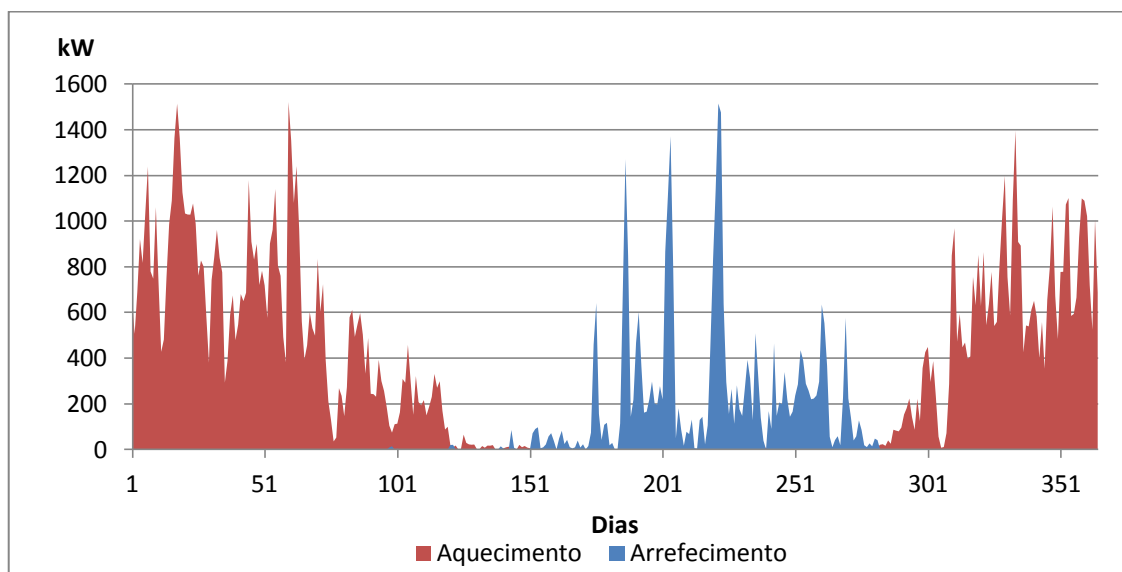


Figura C.1.a – Potência necessária para o aquecimento e arrefecimento do edifício para o caso da ventilação natural.

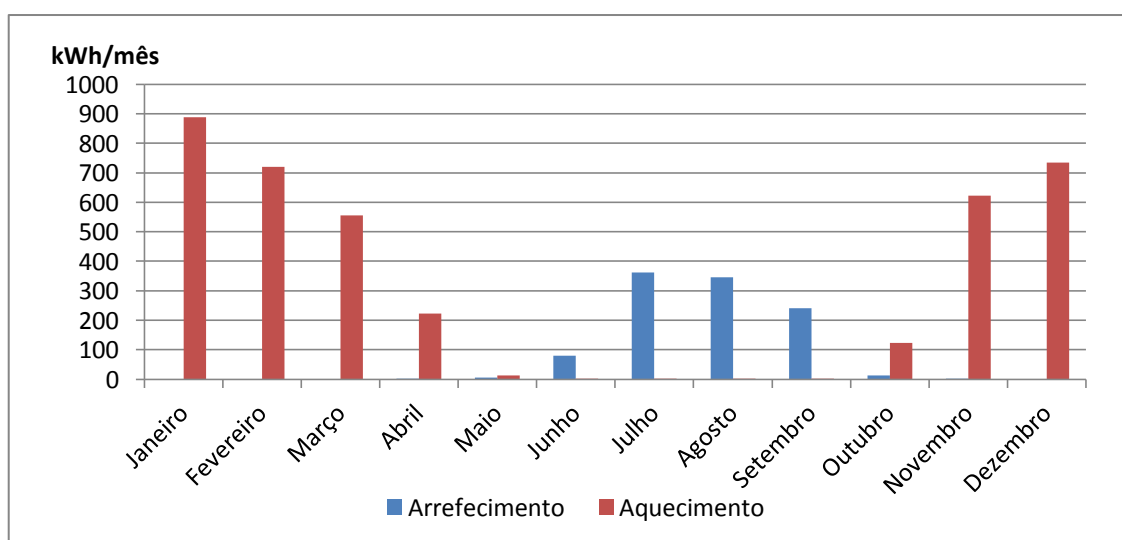


Figura C.1.b – Necessidades mensais de aquecimento e de arrefecimento para o caso da ventilação natural.

C 2 - Necessidades Aquecimento/Arrefecimento (Ventilação Mecânica)

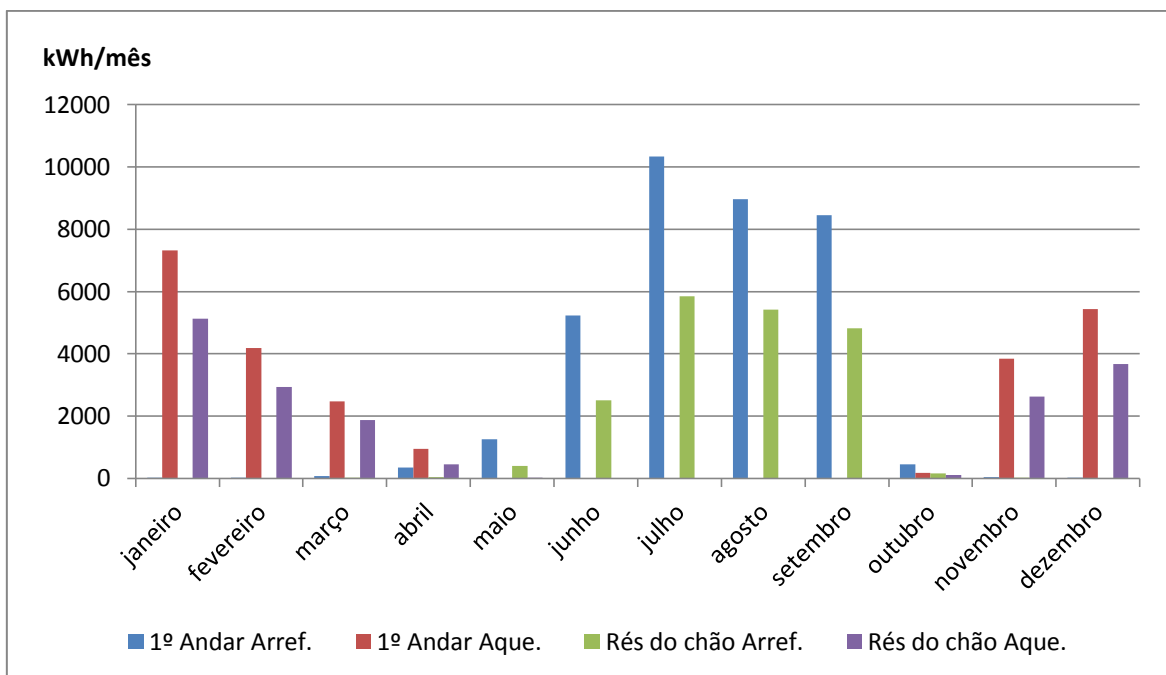


Figura C.2 – Necessidades mensais de aquecimento e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica sem economizadores.

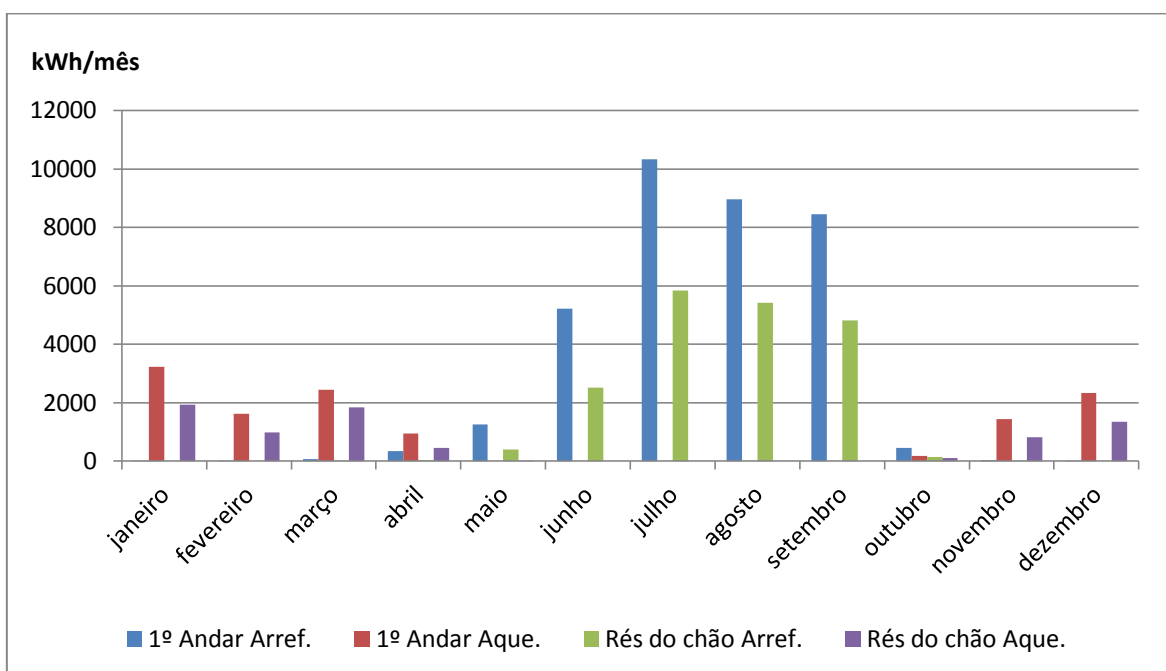


Figura C.3 – Necessidades mensais de aquecimentos e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica com recuperação de calor do ar de rejeição.

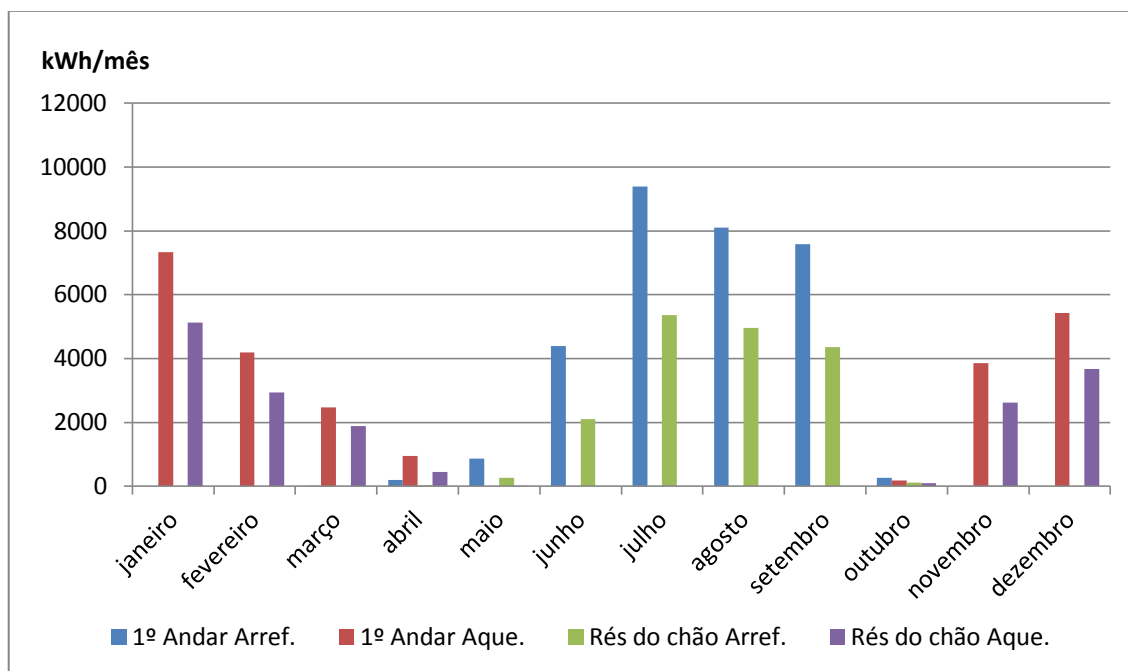


Figura C.4 – Necessidades mensais de aquecimentos e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica com possibilidade de *freecooling*.

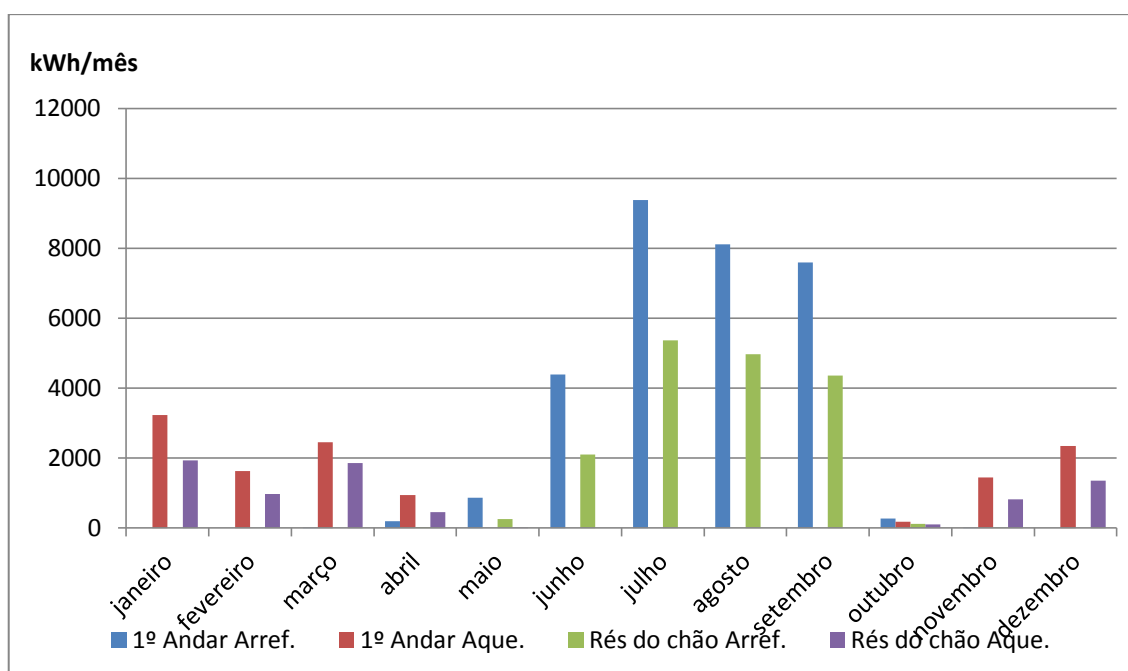


Figura C.5 – Necessidades mensais de aquecimento e de arrefecimento para o caso da ventilação mecânica com *freecooling* e com recuperação de calor.