

Análise Estratégica de Eficiência Energética da Ventilação em Edifícios Residenciais

Diogo Cortez Alves

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Vítor Leal



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro 2009

Resumo

O actual contexto energético mundial incentiva a procura de sistemas cada vez mais eficientes, com o objectivo de redução de consumos de combustíveis fósseis e respectivas emissões de CO₂ para a atmosfera.

No âmbito dos edifícios de habitação, as perdas de calor no Inverno resultantes da renovação de ar são responsáveis por uma das maiores fracções de consumo energético. Assim surge o projecto “Análise Estratégica de Eficiência Energética da Ventilação em Edifícios Residenciais”, inserido na disciplina de Projecto do 5º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção de Energia Térmica.

Este projecto teve como principal objectivo calcular e analisar os consumos energéticos resultantes da necessidade de ventilação do espaço habitacional, garantindo o conforto térmico dos ocupantes e a Qualidade do Ar Interior (QAI), com particular destaque para as questões da Ventilação Mecânica e da Recuperação de Calor (RC), visando o estudo da viabilidade e eventual poupança energética resultantes. A análise energética contemplou dois vectores, isto é, a energia calorífica necessária fornecer para compensar as perdas, e, no caso de sistemas de ventilação mecânica, a electricidade gasta pelos ventiladores na ventilação do espaço. A apresentação dos resultados será na base do consumo de energia primária por unidade de área, em kgep/m², complementada pela vertente de custos da energia, em €/m².

Assim, foram analisados os seguintes tipos de sistemas de ventilação:

- Ventilação Natural;
- Ventilação Mecânica sem Recuperação de Calor;
- Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor.

O parâmetro “Perdas de Calor” resultantes da renovação de ar, será calculado em função da variável principal do projecto, *Graus-Dias* (GD), procurando abranger a variedade existente nos diversos climas Europeus. Como variáveis secundárias, teremos a variável *Permeabilidade*, definindo o grau de estanquicidade da envolvente do edifício a infiltrações, e expressa em renovações por hora (rph). De modo a caracterizar a eficiência energética directa do sistema de ventilação teremos a variável *Specific Fan Power* (SFP), expressa em W/(m³/h).

Os resultados obtidos demonstram claramente que para cenários de ventilação mecânica pouco eficiente (SFP=1), a Ventilação Natural afirma-se como o sistema de ventilação mais eficaz, excepção feita a climas severos e típicos do norte da Europa e regiões montanhosas (GD> 4000).

Com o aumento da eficiência do sistema de ventilação, os sistemas mecânicos começam a compensar, em especial o de Ventilação Mecânica sem RC, mais eficiente e com períodos de retorno de investimento baixos, para climas moderados (GD> 2000) e permeabilidades médias (0.3 ou 0.6 rph).

Finalmente, o caso da Ventilação Mecânica com RC apenas se revela proveitosa, mesmo em climas frios, quando a envolvente do edifício apresenta baixa permeabilidade a infiltrações, e a ventilação mecânica é muito eficiente (SFP=0.1).

Strategic Analysis of Energy Efficiency in Residential Buildings Ventilation

Abstract

Nowadays the global energy context encourages the research for more efficient systems, pursuing the reduction of energy consumption and the correspondent CO₂ emissions to the atmosphere.

Air change heat losses in Winter are responsible for a significant part of energy consumption in residential buildings. On this fact, results the project “Strategic Analysis of Energy Efficiency in Residential Buildings Ventilation”, which is the final project of the Master in Mechanical Engineering, Thermal Energy option.

The scope of this project is to analyze the energetic consumption, resulting indoor ventilation needs, securing people’s comfort and Indoor Air Quality (QAI). The Heat Recovery aspect was also analyzed on an economical saving aspect, as well as the simple *pay-back*. The energetic analysis will be accomplished on two vectors, the heating energy needed to secure the air renovation, and the electricity spent by ventilators in the air renovation. The results presentation will turn up on primary energy base per unit area, kgep/m², and also in the economical view, €/m².

Therefore the types of ventilation in study will be:

- Natural Ventilation;
- Mechanical Ventilation without Heat Recovery;
- Mechanical Ventilation with Heat Recovery.

Heating losses parameter, results of air renovation, and will be intended by the main variable in this project, Degree-Days (GD), covering the entire European climate. The two secondary variables used will be the permeability of the building, expressed in renewal’s per hour (rph), and Specific Fan Power (SFP). The last one describes the energy efficiency of a ventilation system, responsible for the air renovation in the building, applied in the mechanical systems.

The results showed that if ventilation systems are very inefficient (SFP=1), Natural Ventilation stands as the most efficient option, exception made for severe climate such as North Europe and Mountain regions (GD> 4000).

With the decrease of SFP, the mechanical system starts to show improved results, specially the Mechanical Ventilation without Heat Recovery, more efficient and with low simple pay-back periods, for moderated climate and medium permeability (0.3 to 0.6 rph).

Finally, the Mechanical Ventilation with Heat Recovery is only considered a good decision, even in very cold regions, when the building has a very low leakage infiltration, and an efficient ventilation system. In terms of pay-back this kind of system is acceptable, with low periods of investment return (until 10 years), only in the severe cold climates (GD> 4000).

Agradecimentos

Ao Professor Oliveira Fernandes agradeço a oportunidade de realização deste trabalho e as oportunidades concedidas.

Ao Professor Vítor Leal uma palavra especial de agradecimento pela qualidade da orientação ao longo do semestre, de uma forma perspicaz e de bons ensinamentos, sem a qual seria impossível concluir este projecto no timing correcto, mas acima de tudo por me ouvir e compreender.

A todos os meus amigos e colegas que de diversas formas me ajudaram no desenvolvimento deste projecto. Em particular aos colegas Rui Julião, Rui Almeida e Bruno Santos.

Índice de Conteúdos

Nomenclatura	1
1. Introdução	3
1.1. Contexto do projecto – Eficiência Energética	3
1.2. Plano Europeu e Português	4
1.3. Objectivos do Projecto.....	5
2. A Ventilação e a Energia	7
2.1. Importância da Ventilação para a qualidade do ambiente interior	7
2.2. Sistema de Climatização.....	8
2.3. Balanço térmico numa habitação unifamiliar	8
2.4. Perdas de calor resultantes da renovação de ar de acordo com o RCCTE.....	9
2.5. Sistemas de Ventilação.....	10
2.5.1. Infiltrações	10
2.5.2. Ventilação Natural	10
2.5.3. Ventilação Mecânica.....	11
2.5.3.1. Ventilação mecânica sem recuperação de calor.....	12
2.5.3.2. Ventilação mecânica com recuperação de calor.....	13
2.6. Consumo energético dos ventiladores.....	15
3. Análise Energética	17
3.1. Processo de cálculo.....	17
3.1.1. Considerações.....	17
3.1.1.1. Área da habitação	17
3.1.1.2. Factor de conversão F_{pu}	18
3.1.1.3. Custo da Electricidade e Gás Natural	19
3.1.1.4. Termo fixo da Electricidade e Gás Natural.....	21
3.1.1.5. Eficiência do recuperador de calor	21
3.1.1.6. Taxas de renovação por hora	21
3.1.2. Folha de cálculo	22
3.1.2.1. Método	22
3.1.2.2. Análise de custo	25
3.2. Contexto Europeu	25
3.2.1. Resultados	27
3.2.2. Análise de resultados.....	33
3.3. Contexto Português	37
3.3.1. Resultados	38
3.3.2. Análise de resultados.....	43
4. Análise do mercado.....	47
4.1. Situação actual de SFP nos ventiladores disponíveis no mercado.....	47

4.2.	<i>Situação actual da Permeabilidade nas construções do sector residencial.....</i>	48
4.2.1.	Características	48
4.2.2.	Métodos de medição.....	50
4.2.2.1.	Porta Ventiladora	50
4.2.2.2.	Gases Traçadores	51
4.2.3.	Valores actuais de permeabilidade	52
4.3.	<i>Análise económica simples.....</i>	56
5.	Conclusões e trabalho futuro.....	60
6.	Referências	62
	ANEXO A: Gráficos resumo da Análise Energética do Contexto Europeu.....	64
	ANEXO B: Gráficos resumo da Análise Energética do Contexto Português	75
	ANEXO C: Referências dos ventiladores pesquisados	85

Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de Electricidade nos 27 Estados Membro	3
Figura 2 - Consumo de Energia Calorífica nos 27 Estados Membro.....	3
Figura 3 - Consumo final de Energia Primária por sectores na OECD Europe	4
Figura 4 - Balanço Térmico na estação de aquecimento	8
Figura 5 - Pressão positiva numa habitação resultante da insuflação mecânica	11
Figura 6 - Pressão negativa numa habitação resultante da extracção mecânica	11
Figura 7 - Pressões equilibradas numa habitação	12
Figura 8 - Esquema da ventilação mecânica sem Recuperação de Calor	12
Figura 9 - Esquema de ventilação mecânica com Recuperação de Calor.....	13
Figura 10 - Sistema de ventilação mecânica com Recuperação de Calor.....	13
Figura 11 - Exemplo de um Recuperador de Calor Ar-Ar [20]	14
Figura 12 - Exemplo do funcionamento de um Recuperador de Calor de fluxos cruzados.....	14
Figura 13 - Curvas características de um ventilador [8].....	16
Figura 14 - Preço da Electricidade em Portugal [11].....	19
Figura 15 - Preço do Gás Natural em Portugal [12]	19
Figura 16 - Preços de Electricidade na UE-27 [13]	20
Figura 17 - Preços do Gás Natural na UE-27 [13].....	20
Figura 18 - Valores convencionais de rph em edifícios ventilados naturalmente [7]	21
Figura 19 - Organograma base do processo de cálculo.....	22
Figura 20 - Mapa Europeu de Graus-Dias [14]	26
Figura 21 - Exemplo de gráfico resumo (Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.4 W/(m ³ /h))	27
Figura 22 – Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Europeu (permeabilidade do edifício=0.3 rph)	35
Figura 23 – Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Europeu (permeabilidade do edifício=0.1 rph)	36
Figura 24 - Mapa de Graus-Dias de Portugal [22]	37

Figura 25 - Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Português (edifícios com permeabilidade=0.3 rph)	45
Figura 26 - Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Português (edifícios com permeabilidade=0.1 rph)	45
Figura 27 - Histograma dos valores de SFP dos ventiladores disponíveis no mercado.....	47
Figura 28 - Factores da Permeabilidade da envolvente.....	48
Figura 29 - Exemplo de Porta Ventiladora [21]	50
Figura 30 - Referência de tipologia de habitação.....	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Análise energética Permeabilidade=0.6 rph e SFP=0.4 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	28
Tabela 2 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.4 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	28
Tabela 3 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.4 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	29
Tabela 4 - Análise energética Permeabilidade=0.6 rph e SFP=1 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	29
Tabela 5 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=1 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	30
Tabela 6 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=1 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	30
Tabela 7 - Análise energética Permeabilidade=0.6 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	31
Tabela 8 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	31
Tabela 9 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Europeu).....	32
Tabela 10 - Análise energética GD=500 (Contexto Europeu)	33
Tabela 11 - Análise energética GD=1000 (Contexto Europeu)	33
Tabela 12 - Análise energética GD=1500 (Contexto Europeu)	33
Tabela 13 - Análise energética GD=2000 (Contexto Europeu)	33
Tabela 14 - Análise energética GD=2500 (Contexto Europeu)	33
Tabela 15 - Análise energética GD=3000 (Contexto Europeu)	33
Tabela 16 - Análise energética GD=3500 (Contexto Europeu)	34
Tabela 17 - Análise energética GD=4000 (Contexto Europeu)	34
Tabela 18 - Análise energética GD=6000 (Contexto Europeu)	34
Tabela 19 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	38
Tabela 20 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	38
Tabela 21 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.4 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	39
Tabela 22 - Análise energética Permeabilidade=0.6 rph e SFP=1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	39
Tabela 23 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	40
Tabela 24 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	40
Tabela 25 - Análise energética Permeabilidade=0.6 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	41

Tabela 26 - Análise energética Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	41
Tabela 27 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.1 W/(m ³ /h) (Contexto Português)	42
Tabela 28 - Análise energética GD=1000 (Contexto Português)	43
Tabela 29 - Análise energética GD=1200 (Contexto Português)	43
Tabela 30 - Análise energética GD=1400 (Contexto Português)	43
Tabela 31 - Análise energética GD=1600 (Contexto Português)	43
Tabela 32 - Análise energética GD=1800 (Contexto Português)	43
Tabela 33 - Análise energética GD=2000 (Contexto Português)	43
Tabela 34 - Análise energética GD=2200 (Contexto Português)	44
Tabela 35 - Análise energética GD=2400 (Contexto Português)	44
Tabela 36 - Análise energética GD=2600 (Contexto Português)	44
Tabela 37 - Análise energética GD=2800 (Contexto Português)	44
Tabela 38 - Análise energética GD=3000 (Contexto Português)	44
Tabela 39 - Classes de exposição ao vento da fracção autónoma [7].....	49
Tabela 40 - Valores da permeabilidade da envolvente de um edifício segundo a ATTMA	52
Tabela 41 - Dados do artigo sobre permeabilidade disponível na WEB [19]	54
Tabela 42 - Valores de permeabilidade disponíveis no artigo da WEB [19]	54
Tabela 43 - Definição de níveis de permeabilidade no artigo disponível na WEB [19].....	55
Tabela 44 - Custo de ventiladores e recuperadores de calor disponíveis no mercado [17],[18].....	56
Tabela 45 - Períodos de <i>Pay-Back</i> simples de alguns sistemas de ventilação.....	57

Nomenclatura

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidades (SI)</i>
%RC	Eficiência do Recuperador de Calor	-
θ_{atm}	Temperatura do ar exterior	[°C]
θ_i	Temperatura interior de referência	[°C]
A_p	Área útil de pavimento	[m ²]
F_{pu}	Factor de conversão entre energia útil e energia primária	[kgep/kWh]
GD	Número de Graus-Dias	[°C.dias]
kgep	Quilogramas equivalentes de petróleo	-
M	Número de meses da estação de aquecimento	[meses]
N_{ic}	Necessidades anuais de aquecimento do edifício	[kWh/m ² .ano]
P_d	Pé direito	[m]
QAI	Qualidade do Ar Interior	-
Q_{gu}	Ganhos de calor úteis	[kWh]
Q_{ra}	Perdas de calor correspondentes à renovação de ar interior	[W]
Q_t	Perdas de calor por condução através da envolvente do edifício	[W]
Q_v	Perdas de calor resultantes da renovação de ar durante a estação de aquecimento	[kWh]
RC	Recuperador de Calor	-
rph	Taxa de renovação nominal	[h ⁻¹]
SFP	Specific Fan Power	[W/(m ³ /h)]
$\dot{V}$	Caudal de infiltrações	[m ³ /h]
$\dot{V}_{50}$	Caudal de infiltrações a $\Delta p=50$ Pa	[m ³ /h]
Volume	Volume útil para um pé-direito de 2.5 m	[m ³]
z	Altitude	[m]
ε	Eficiência do recuperador de calor	[%]

1. Introdução

1.1. Contexto do projecto – Eficiência Energética

O panorama energético à escala mundial, tem vindo a sofrer alterações estruturais no equilíbrio do binómio oferta/procura, resultado quer do aumento do preço dos combustíveis de origem fóssil, quer da redução das reservas mundiais dos recursos exógenos. A estes dois factores aliam-se os compromissos internacionais de redução das emissões de CO₂.

Assim, a Eficiência Energética é cada vez mais objecto de Investigação e Desenvolvimento, tornando-se numa ferramenta de diferenciação e competitividade nos mercados mundiais.

Segundo os últimos dados da Agência Internacional da Energia (IEA), em 2005, e de acordo com as Figuras 1 e 2, o sector residencial é responsável por 29% do consumo final de electricidade e de 24% da energia calorífica¹, dentro dos 27 Estados Membro [1].

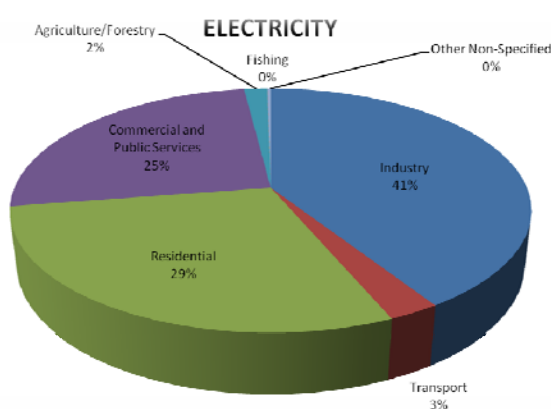


Figura 1 - Consumo de Electricidade nos 27 Estados Membro

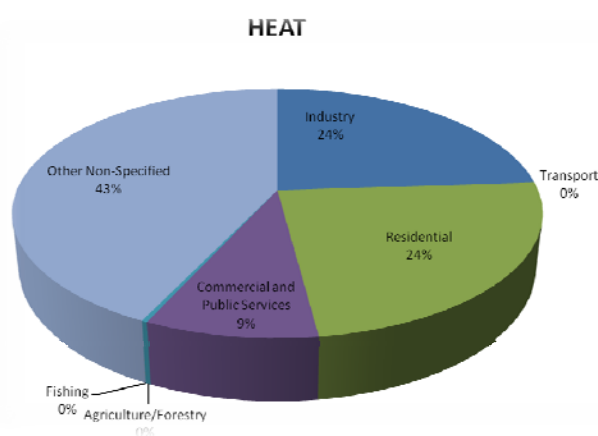


Figura 2 - Consumo de Energia Calorífica nos 27 Estados Membro

Na Figura 3 vemos o consumo final de energia primária por sector da OECD Europe (Países Europeus da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), onde se observa o peso da electricidade e do gás no panorama energético actual, nos sectores residenciais e de serviços.

Este conjunto de dados demonstra a importância que os edificios residenciais e de serviços têm no consumo de energia, numa Europa muito dependente do abastecimento externo. O objectivo de moderação do consumo energético em cerca de 20% até 2020 torna este sector bastante exigente e atractivo em termos de inovação [2].

¹ No site da IEA não é disponibilizada informação sobre os sectores incluídos em “Other Non-Specified”.

Concluindo, tudo aponta para a necessidade de redução de consumo e aposta em sistemas eficientes, procura de novas tecnologias amigas do ambiente, sempre com vista à redução de emissões de CO₂ e da dependência de recursos exógenos.

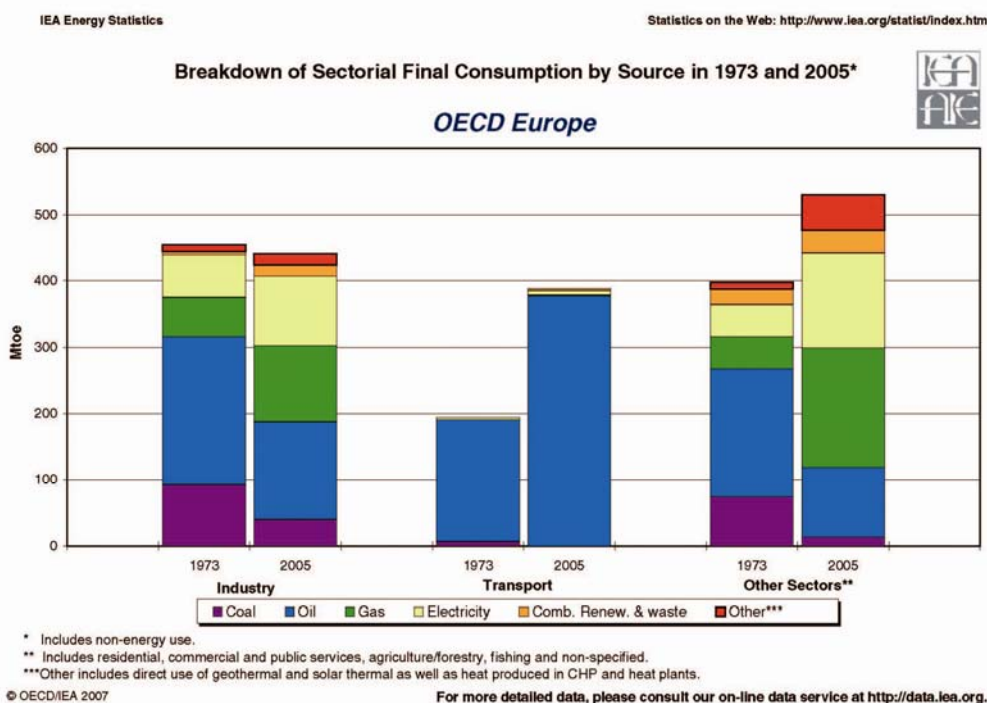


Figura 3 - Consumo final de Energia Primária por sectores na OECD Europe

1.2. Plano Europeu e Português

A nível Europeu as medidas tomadas no sector dos edificios seguiram o modelo de uma directiva publicada oficialmente a 4 de Janeiro de 2003, a EPBD – European Directive on the Energy Performance of Buildings.

Esta directiva visa promover o desenvolvimento de medidas que levem a um bom desempenho energético por parte dos edificios, com custos controlados e sem comprometer a qualidade do ar interior. Por outro lado impõe aos estados membros o estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edificios. [2],[3],[7]

Assim cada Estado Membro (MS) tem como responsabilidade aplicar a directiva consoante o clima existente, entre outras características particulares. Tudo de modo a convergir o nível de eficiência nesse MS para o nível existente no MS mais avançado.

No caso Português estas medidas são impostas pelo Decreto de Lei nº80/2006, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), bem como pelo DL nº79/2006, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

No caso do RCCTE, este aplica-se a todas as fracções autónomas de todos os novos edifícios residenciais, sendo o instrumento legal que obriga a requisitos mínimos energéticos, tendo sempre em vista o conforto térmico dos ocupantes.

Uma das disposições finais existentes no regulamento em questão, no Artigo 15.º, é a dos valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}). Para tal e atendendo ao método de cálculo de N_{ic} , exposto na secção 2.3 deste projecto, temos necessidade de tornar o mais eficiente possível a parcela das Perdas de calor resultantes da renovação de ar. Isto pode ser conseguido através de uma envolvente pouco permeável de modo a reduzir as infiltrações, havendo contudo a necessidade de garantir um nível mínimo de renovação de ar de modo a assegurar a Qualidade do Ar Interior (QAI).

1.3. Objectivos do Projecto

Este projecto surge no âmbito da disciplina de Projecto do 5º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção Energia Térmica, com o intuito de perceber quais os sistemas de ventilação energeticamente mais eficientes no sector residencial, de acordo com a gama de climas existentes na Europa. Um outro objectivo incidiu na questão da Recuperação de Calor, avaliando a sua viabilidade em termos de poupança energética e económica.

Os sistemas de ventilação em análise serão os seguintes:

- Ventilação Natural;
- Ventilação Mecânica sem recuperação de calor;
- Ventilação Mecânica com recuperação de calor

De modo a incluir a interferência do clima nos diferentes sistemas de ventilação em estudo, definiu-se como variável principal o número de Graus-Dias da estação de aquecimento (GD).

Esta variável tem como função revelar a severidade do clima de uma determinada região, sendo caracterizada como a soma das diferenças das temperaturas médias diárias para um valor de referência (20°C)² durante a estação de aquecimento. Quanto mais elevado o valor de GD maiores as necessidades de aquecimento do respectivo local.

Assim sendo a análise será feita com a finalidade de encontrar o sistema que consome menos energia numa base primária, ou seja, em quilogramas equivalentes de petróleo (kgep).

² Condições interiores de referência, Artigo 14, Capítulo V, RCCTE

De modo a diferenciar os espaços e sistemas em termos de consumo energético utilizaram-se as seguintes variáveis:

- Permeabilidade do espaço – Esta variável caracteriza a boa ou má estanquicidade em termos de infiltrações, com o respectivo interesse pela energia perdida na renovação de ar resultante. Quantifica-se em renovações por hora (rph);
- Specific Fan Power (SFP) – Variável que caracteriza a eficiência energética directa de um sistema de ventilação [$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$]. Representa a potência necessária para transportar determinado volume de ar. Será explicada em pormenor no ponto 2.6.

2. A Ventilação e a Energia

2.1. Importância da Ventilação para a qualidade do ambiente interior

No interior de uma habitação, são múltiplas as fontes de poluentes que levam a uma deterioração da qualidade do ar interior. Fontes como o próprio ar atmosférico, os bioefluentes libertados pelos ocupantes, os materiais de construção do edifício, entre outros, levam por vezes a concentrações de poluentes prejudiciais para os ocupantes.

Não menos importante o resultado da combustão de aparelhos termodomésticos, tais como esquentadores a gás, leva a que seja crítica a ventilação dos espaços adjacentes, de modo a uma permanência saudável dos ocupantes.

Assim torna-se imperativo garantir uma boa Qualidade do Ar Interior (QAI), sendo esta obtida através da renovação de ar do espaço habitacional. O valor de renovações por hora (rph) depende de variados factores, definidos no RCCTE e referidos neste projecto.

O cumprimento das renovações horárias recomendadas resultará num ambiente saudável, onde o ar circundante não contenha contaminantes a concentrações consideradas perigosas pelas autoridades competentes, e no qual a maioria dos ocupantes não se sente desconfortável [4]. Note-se ainda que, mesmo antes da ventilação propriamente dita do espaço, deve ser considerada a eliminação ou redução das fontes de poluição interior.

A nível Europeu, através da Directiva atrás referida, e em Portugal através do RCCTE no seu Artigo 14.º, é recomendada uma taxa de renovação mínima de 0.6 rph para garantir a QAI, devendo tal marco ser obtido através de sistemas de ventilação mecânica, ou de ventilação natural com respectivos dispositivos específicos para o efeito.

2.2. Sistema de Climatização

Dentro dos múltiplos sistemas de climatização existentes, neste estudo toma-se como referência para o aquecimento um sistema **Tudo-Água**, sendo o Fornecimento de Calor assegurado por radiadores, usuais nos edifícios residenciais.

Considera-se também o uso de uma caldeira de condensação com rendimento de 100% para aquecimento da água, responsável pela componente Fornecimento de Calor, sendo o combustível considerado Gás Natural.

A componente Renovação de Ar é assegurada pelo sistema de ventilação, nas três variantes que se apresentarão na secção 2.5.

2.3. Balanço térmico numa habitação unifamiliar

Efectuando um balanço térmico de um edifício habitacional, são diversas as componentes que contribuem para um ambiente mais ou menos confortável. Visualizando a Figura 4 vemos o balanço térmico geral aplicado ao caso em estudo.

O cálculo das necessidades de aquecimento segue igualmente este tipo de balanço térmico. O RCCTE adopta o método descrito no Anexo IV e composto pela soma das seguintes componentes:

1. Q_t – Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios;
2. Q_v – Perdas de calor resultantes da renovação de ar;
3. Q_{gu} – Ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados.

Assim sendo para o cálculo efectivo das necessidades de aquecimento, o valor real seria encontrado por:

$$N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu})/A_p \quad (1)$$

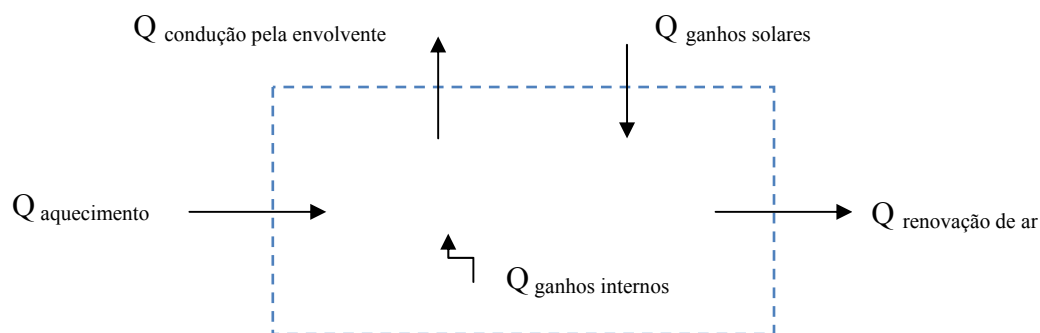


Figura 4 - Balanço Térmico na estação de aquecimento

O valor de N_{ic} representa um parâmetro importante na análise energética, na medida em que quanto menor for, menos energia necessita o edifício em questão para obter uma temperatura interior confortável para os ocupantes.

Atendendo a este pressuposto tem-se então como finalidade num estudo global reduzir ao mínimo este valor, mas atendendo aos objectivos deste projecto, análise estratégica da eficiência energética da ventilação, a única parcela em consideração será a das perdas por renovação de ar (Q_v), e analisada em detalhe de seguida.

2.4. Perdas de calor resultantes da renovação de ar de acordo com o RCCTE

Como exposto no ponto 2.3, uma das parcelas que contribui para o valor final de N_{ic} é a das perdas de calor resultantes da renovação de ar.

Este factor resulta da troca de ar através das frinchas e má vedações, no caso da Ventilação Natural, ou do ar retirado pela extracção mecânica, no caso de estarmos perante sistemas de ventilação mecânicos. Em ambos os casos o volume de ar perdido foi previamente aquecido, sendo por isso considerada a energia utilizada para tal efeito como perdida.

Em relação ao método de cálculo, surgem duas opções de obter as perdas de calor pela renovação de ar, por unidade de tempo (W), Equação 2, ou a energia dispendida em toda a estação de aquecimento (kWh), Equação 3.

$$Q_{ra} = 0.34 * R_{ph} * A_p * P_d * (\theta_i - \theta_{atm}) \quad (2)$$

$$Q_v = 0.024 * (0.34 * R_{ph} * A_p * P_d) * GD \quad (3)$$

Como se repara, ambas as opções contêm as variáveis R_{ph} , A_p e P_d , mas a Equação 3 depende da variável Graus-Dias, variável principal do projecto, caracterizando o clima em análise.

Assim sendo, torna-se mais fácil o estudo, não sendo necessário o uso da variável θ_{atm} , a temperatura do ar exterior, evitando-se mais uma vez particularizar o estudo, com as respectivas vantagens que daí advém.

2.5. Sistemas de Ventilação

2.5.1. Infiltrações

Desde o início das construções habitacionais que existe renovação de ar no espaço interior, com uma qualidade de ar dentro de parâmetros razoáveis. Tal facto advinha da má estanquicidade das habitações, resultado de técnicas de construção arcaicas com portas e janelas contendo frinchas consideráveis que permitiam um fluxo de ar, termicamente desvantajoso em determinadas épocas do ano, tal como no Inverno, onde seria lucrativo preservar os ganhos solares. Atendendo aos típicos dias frios e ventosos tal não era possível, sendo a causa física explicada no ponto seguinte.

Anos passados e técnicas de construção evoluídas, este fenómeno continua a ser responsável pela maior parte da renovação de ar existente na maioria dos países com clima ameno como é o caso de Portugal.

Uma das grandes desvantagens deste tipo de sistema é o facto de em habitações com aquecimento, central ou localizado (lareiras), haver um desperdício energético por vezes acentuado, dependendo do grau de estanquicidade e do fluxo de ar respectivo.

2.5.2. Ventilação Natural

Este tipo de ventilação resulta de aberturas no edifício, previstas pelo utilizador e sob o controle do mesmo, sendo por isso diferente do conceito de meras infiltrações definido anteriormente. Há contudo que reconhecer que na prática em muitas situações se considera as infiltrações como sendo um “Sistema de Ventilação Natural”.

Para que numa habitação seja considerado o uso apropriado de ventilação natural, em Portugal deve ser cumprida a norma NP 1037-1, podendo ser considerado o uso do exaustor de cozinha como único dispositivo mecânico, atendendo a baixa frequência com que é utilizado. A norma em causa tem como principal objectivo definir as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que cumpram os requisitos mínimos de funcionamento de aparelhos de gás e respectiva ventilação natural, em especial exigindo aberturas auto-reguladas na envolvente dos espaços nobres, e a vedação das portas e janelas com eficácia. [5]

Um dos aspectos que leva a ser difícil classificar uma habitação com ventilação natural, são os mecanismos não controláveis pelo homem e de cariz algo particular, que levam à ventilação do edifício. Estes resultam da diferença de pressões entre o exterior e o interior do edifício proveniente dos seguintes efeitos:

- Vento – resultado do escoamento do ar em torno do edifício, resultam zonas da envolvente com pressão estática superior à atmosférica, bem como outras zonas com pressão estática inferior, levando a que existam fluxos de ar dentro do edifício, consequência das aberturas existentes;
- Efeito chaminé – devido à diferença entre a temperatura interior e exterior, resulta em massas volúmicas distintas, originando correntes de ar no edifício.

A principal vantagem deste tipo de mecanismo face ao mecanismo de ventilação mecânica é o investimento inicial avultado necessário neste último. Ainda dentro do aspecto económico as operações de manutenção são reduzidas bem como o espaço físico requerido por ventiladores e caldeiras pode ser utilizado para os mais diversos fins. Com todas as vantagens e desvantagens, este sistema é o mais indicado para edifícios habitacionais de pequenas dimensões e situados em climas amenos [6].

2.5.3. Ventilação Mecânica

Com o avanço das tecnologias, e acima de tudo com um crescendo da melhoria de qualidade de vida, os sistemas de ventilação mecânica começaram a ter a sua quota-parte do mercado. Em vez das tradicionais unidades individuais de fluido frigorigéneo, direccionadas para os compartimentos da habitação mais utilizados, iniciou-se uma generalização do uso de sistemas com extracção mecânica em habitações multifamiliares.

Neste tipo de sistema, o fluxo de ar responsável pela ventilação da habitação e garantia da QAI, é resultado de um gradiente de pressões provocado pelo uso de um ou mais ventiladores, sendo o número e tipo de função dos ventiladores, forma de definir 3 subsistemas:

→ Insuflação mecânica

Neste caso temos o uso de um ventilador de insuflação, levando a que a habitação fique pressurizada, e o fluxo de ar saia através das frinchas ou dispositivos próprios para o efeito. Devido à pressão positiva existente dentro da habitação não existem infiltrações.

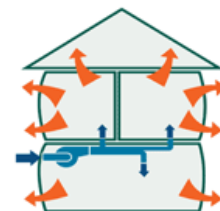


Figura 5 - Pressão positiva numa habitação resultante da insuflação mecânica

→ Extracção mecânica

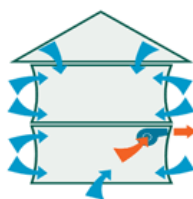


Figura 6 - Pressão negativa numa habitação resultante da extracção mecânica

Sistema usual nas habitações portuguesas, provoca uma depressão na habitação, sendo comum colocar a extracção nas zonas de maior concentração de poluentes, cozinhas e casas de banho.

Resultado da pressão negativa existente, o ar entra na habitação por infiltração ou por dispositivos preparados para o efeito.

→ Insuflação e extracção

Em habitações mais avançadas tecnologicamente e já com unidades centralizadas de tratamento de ar (UTA), o edifício dispõe de ventiladores de insuflação e extracção totalmente independentes, podendo ser possível utilizar recuperação de calor, hipótese analisada de seguida.



Figura 7 - Pressões equilibradas numa habitação

Neste caso pode ocorrer ou não a existência de infiltrações, sendo que caso os caudais de insuflação e extracção sejam relativamente idênticos, com a consequente equilibragem das pressões, as infiltrações continuam a ocorrer. Para que tal não aconteça a diferença de caudais tem de ser significativa de modo a que haja uma ligeira pressurização da habitação.

2.5.3.1. Ventilação mecânica sem recuperação de calor

Esta hipótese analisada neste projecto consiste na existência de extracção mecânica, através de um ventilador, considerando como analisado anteriormente, a existência de uma despressurização no interior do edifício, levando a que as renovações de ar sejam feitas pela permeabilidade da habitação. O desequilíbrio de pressões entre o interior e o exterior é contudo suficiente para que não se considere qualquer parcela de infiltrações “aleatórias”.

Assim parte do calor dispendido para aquecimento da habitação através dos radiadores será perdido, resultado da entrada de ar novo, com a consequente perda energética. Com a entrada do ar novo, poderá existir algum grau de desconforto local nos ocupantes em algumas áreas próximas da envolvente, em especial na época de Inverno, época de temperaturas baixas. Dado que se trata de uma questão de distribuição de ar e não energética, e atendendo ao objectivo do projecto, não se irá ter em conta este aspecto.

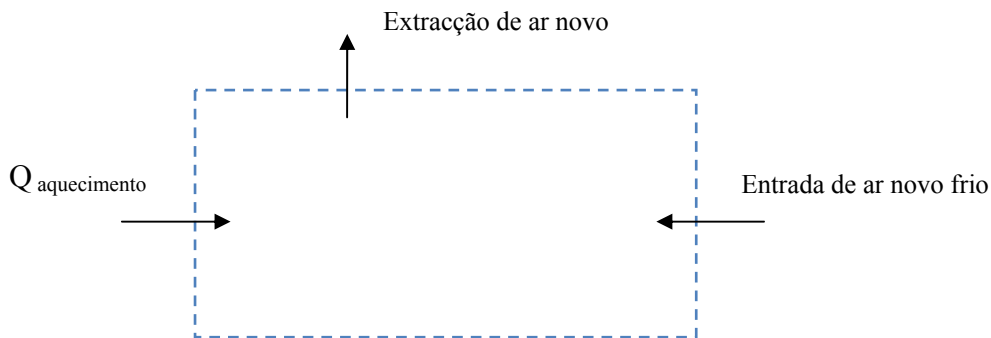


Figura 8 - Esquema da ventilação mecânica sem Recuperação de Calor

2.5.3.2. Ventilação mecânica com recuperação de calor

No último sistema de ventilação em análise, considera-se a utilização do sistema anteriormente descrito, mas agora com a existência de um recuperador de calor e um ventilador de insuflação. O ventilador de extracção irá retirar um determinado volume de ar dentro da habitação, levando-o ao recuperador de calor onde exista uma transferência de calor para o ar novo, de modo a que este seja pré-aquecido não sendo assim necessário dispendir tanta energia no aquecimento da habitação. De seguida apresenta-se um esquema de funcionamento, nas Figuras 9 e 10.

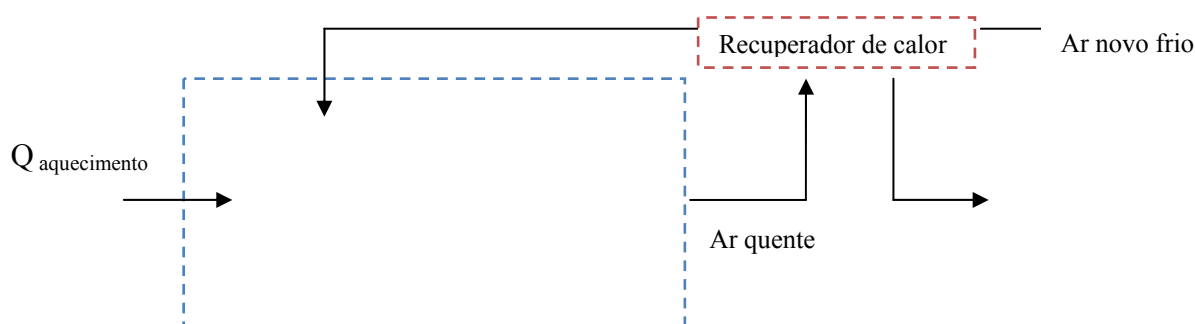


Figura 9 - Esquema de ventilação mecânica com Recuperação de Calor

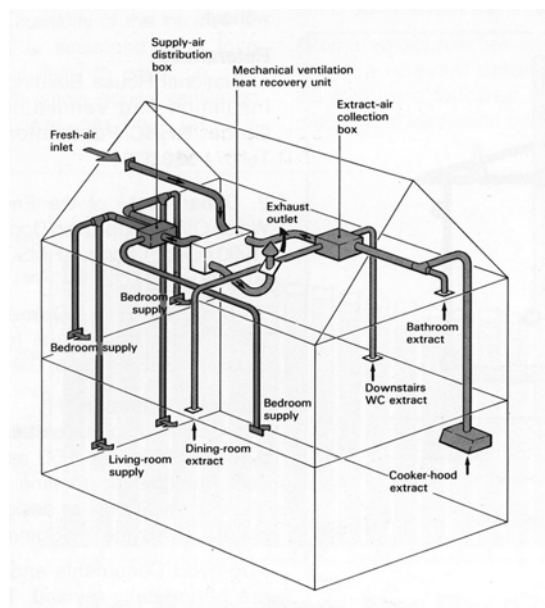


Figura 10 - Sistema de ventilação mecânica com Recuperação de Calor

Este tipo de sistema tem como principal vantagem a recuperação de energia calorífica do ar que iria para o exterior, não sendo aproveitado, mas face aos investimentos capitais iniciais, bem como de manutenção, é habitual não considerar a implementação de sistemas deste tipo, sendo uma das questões analisadas neste projecto, a sua viabilidade económica e energética nos diferentes climas existentes na Europa.

Um dos handicaps deste sistema é o facto de pelo uso do recuperador de calor, ser necessário a correcta equilibragem dos caudais que passam no mesmo, de modo a uma correcta transferência de calor e uma boa eficiência. Assim, resultado da baixa diferença de pressão entre o interior e o exterior da habitação, existirão infiltrações

que levarão a uma perda energética, analisada neste projecto. Assim serão analisadas 3 hipóteses de permeabilidade da envolvente do edifício, aquando dos caudais equilibrados:

- Valor baixo: 0.1 rph
- Valor médio: 0.3 rph
- Valor alto: 0.6 rph

- Recuperadores de calor

Este tipo de dispositivo mecânico, existente nas mais diversas áreas da engenharia, permite para o caso da ventilação em habitações, recuperar a energia contida num determinado fluxo de ar, e transferi-la para um outro fluxo de ar novo, de modo a reduzir os consumos de energia na ventilação.

Dentro dos diferentes tipos de recuperadores de calor o mais usual na ventilação de habitações unifamiliares, são os de fluxos cruzados como exemplo a Figura 12.

Normalmente estes tipos de mecanismos vêm incorporados em pequenas centrais de tratamento de ar (Figura 11), sendo o principal objectivo a recuperação de calor, mas com variadas hipóteses de configurações de uso, permitindo uma grande flexibilidade, acima de tudo na possibilidade de instalação de unidades extra tais como baterias de aquecimento, de modo a pré-aquecer o ar até á temperatura desejada, caso o recuperador não consiga tal efeito.

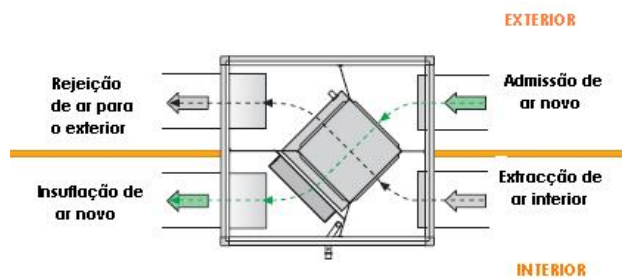


Figura 12 - Exemplo do funcionamento de um Recuperador de Calor de fluxos cruzados



Figura 11 - Exemplo de um Recuperador de Calor Ar-Ar [20]

- Eficiência

Como muitos dispositivos mecânicos, um recuperador de calor possui uma determinada eficiência. Atendendo a diversos factores como a condutibilidade do material das placas, o escoamento de ar existente dentro do permutador, entre outros, a eficiência de um permutador pode variar de modelo para modelo.

De um modo geral este parâmetro é calculado com base na energia que se consegue retirar de um escoamento de ar utilizado, para o escoamento de ar novo, em relação à energia total que o primeiro possui, ou seja:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{T_{ar\ novo} - T_{ar\ exterior}}{T_{ar\ interior} - T_{ar\ exterior}} \quad (5)$$

Sendo este um parâmetro importante no caso em estudo, definiram-se inicialmente 3 valores de eficiência para o recuperador em uso, após pesquisa realizada a alguns equipamentos existentes no mercado.

Embora a informação disponível seja de algum modo escassa e ambígua, na medida em que não foram encontrados dados específicos de eficiência para um dado permutador, mas sim gamas de eficiência, após a recolha dos dados decidiu-se utilizar os seguintes valores.

- Valor baixo: 60%
- Valor médio: 75%
- Valor alto: 90%

Com o evoluir do projecto e como se verá no Capítulo 3 (Análise Energética), a combinação das 3 variáveis apresentadas nos objectivos do projecto (Graus-dias, SFP e Permeabilidade) dá lugar a um conjunto de cenários bastante considerável como se verá.

Após um estudo prévio confirmou-se a evolução linear da influência do recuperador de calor, decidindo-se utilizar o valor médio de 75% para a análise energética, no caso ventilação mecânica com recuperação de calor.

2.6. Consumo energético dos ventiladores

A necessidade de criar um ambiente saudável dentro de uma habitação, com a necessária renovação do ar espaço interior, leva à necessidade de criar fluxos de ar dentro do edifício. Quando a ventilação natural não cumpre os objectivos desejados, é necessário o uso de ventiladores.

O principal inconveniente de tal dispositivo mecânico é o consumo de energia que acarreta, sendo tal factor dependente das seguintes causas:

- Volume de ar a transferir;
- Perdas de carga a vencer;
- Tipo de ventilador.

Assim torna-se importante a análise da variável SFP neste estudo. Este parâmetro caracteriza como já explicado no ponto 1.3, a eficiência energética directa de um sistema de ventilação, sendo tal factor influenciado principalmente pelas perdas de carga. Neste projecto serão considerados 3 valores de SFP:

- Valor baixo: $0.1 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$;
- Valor médio: $0.4 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$;
- Valor alto: $1 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$.

São inúmeros os factores que levam a um aumento da perda de carga ao longo de um sistema de ventilação. Como será compreensível quanto maior o comprimento das condutas servidas pelo ventilador maior a perda de carga em linha que este terá de suportar. De igual modo, o número, tipo de curvas e “fittings”, determinará as perdas de carga localizadas. Como comprovado na Figura 13, nas curvas características de um ventilador mediano, quanto maiores forem as perdas de carga necessárias vencer, para um mesmo caudal transportado, maior será a potência do ventilador a utilizar e o respectivo consumo energético.

Torna-se assim imperativo um bom projecto de ventilação, tendo sempre em vista uma boa organização de tubagens, com o mínimo de junções, cotovelos, mudanças de secção, etc. Tudo de modo a reduzir ao máximo as perdas de carga e o consequente consumo energético.

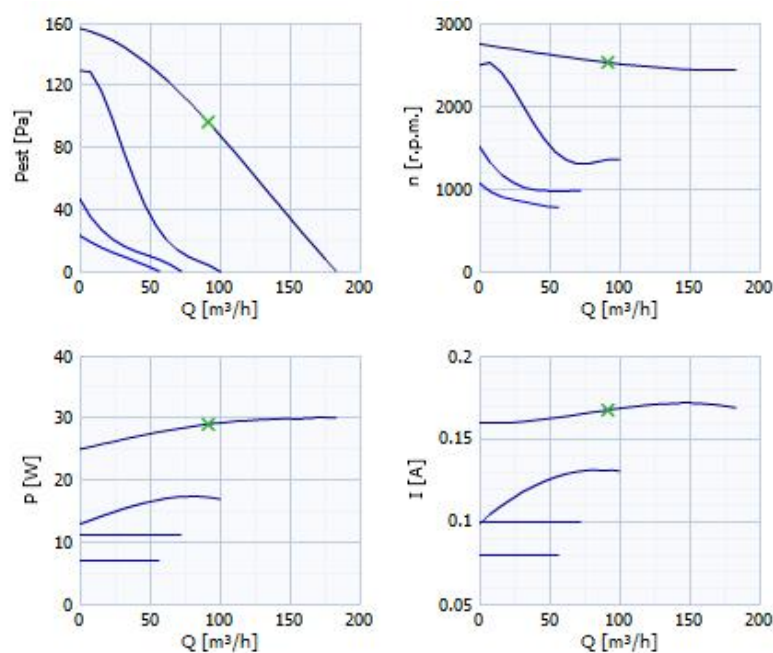


Figura 13 - Curvas características de um ventilador [8]

3. Análise Energética

3.1. Processo de cálculo

Tendo o objectivo principal do projecto em mente, saber qual o tipo de sistema em estudo energeticamente mais eficiente para determinado clima, ilustra-se agora o processo de cálculo que permite a obtenção dos valores desejados.

Como já referido a análise decorrerá de modo a obter a energia primária consumida, em kgep, colocando todas as formas de energia utilizadas, calor e electricidade, na mesma base energética, sendo assim mais fácil comparar gastos entre os dois tipos de energia. De seguida enumeram-se as considerações feitas no processo de cálculo.

3.1.1. Considerações

3.1.1.1. Área da habitação

Uma das variáveis consideradas inicialmente foi a área das fracções habitacionais em estudo, sendo definidos 3 valores distintos, após pesquisa na base de dados da EUROSTAT [9], relativo à área média das habitações europeias, estudo que incidiu em 252 cidades europeias.

Os valores obtidos foram arredondados para os seguintes:

- Valor baixo: 80 m²;
- Valor médio: 160 m²;
- Valor alto: 240 m².

Após os cálculos iniciais, confirmou-se a influência linear do parâmetro sendo desnecessário calcular os gastos energéticos para as 3 tipologias. Assim sendo os valores obtidos para as perdas por renovação de ar serão expressos por unidade de área em **kgep/m²**.

3.1.1.2. Factor de conversão F_{pu}

Um dos parâmetros importantes neste projecto é o factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária. Este factor revela o conteúdo fóssil de um kWh de electricidade ou de calor, em termos de quilogramas equivalentes de petróleo (kgep), sendo variável segundo o *mix* energético de cada país.

O *mix* energético indica o tipo de obtenção da energia eléctrica de cada país, levando a que um país com uma grande aposta em energias renováveis tenha um factor de conversão F_{pu} mais baixo que outros países menos desenvolvidos, e que apostam nas fontes mais antigas e poluidoras.

Atendendo ao objectivo principal do estudo, seria de bom rigor calcular os gastos energéticos de cada clima, com os factores de conversões F_{pu} específicos desse mesmo clima. O problema em questão é o facto de termos diversos climas pela Europa fora, não sendo linear um *mix* energético mais baixo para países com maiores necessidades energéticas por exemplo.

Assim sendo tornou-se imperativo considerar este parâmetro estático e utilizar um só valor. Tal procedimento, de resto, tem também vindo a ser adoptado pela Comissão Europeia em diversas Directivas Europeias.

Como demonstrado de seguida nesta Análise Energética, o processo de cálculo irá resultar em duas folhas de cálculo com diferentes resoluções do número de Graus-Dias (GD), variável principal do projecto e que define o clima em análise. Assim teremos uma folha de cálculo geral de modo a abranger o clima de toda a Europa, complementada por uma análise mais particular ao clima Português, tendo uma maior resolução na gama de GD existente em Portugal.

Para tal decidiu-se utilizar factores de conversão F_{pu} distintos para as duas folhas de cálculo. No caso Português e de acordo com o RCCTE, no seu Artigo 18.º, os factores de conversão de energia útil para energia primária utilizados foram os seguintes:

- Electricidade: $F_{pu}=0.290$ kgep/kWh;
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: $F_{pu}=0.086$ kgep/kWh

Para o caso Europeu e de acordo com a Energy Services Directive, no seu Anexo II, os factores de conversão F_{pu} serão os seguintes [10]:

- Electricidade: $F_{pu}=0.215$ kgep/kWh³;
- Gás Natural (93% Metano): $F_{pu}=0.086$ kgep/kWh.

³ Utilizando a conversão de $E_{final}=2.5 \cdot E_{primária}$, atendendo à média na EU de eficiência na conversão de Energia Primária para Energia Eléctrica [10].

3.1.1.3. Custo da Electricidade e Gás Natural

O valor de custo de cada kWh de Electricidade e de Gás Natural será utilizado na análise económica descrita no ponto 3.1.2.2. Foi realizado um levantamento dos custos médios na União Europeia, bem como no caso Português, das principais fornecedoras de energia Eléctrica e Gás Natural, de modo a perceber a representatividade dos valores existentes no mercado interno face à União Europeia.

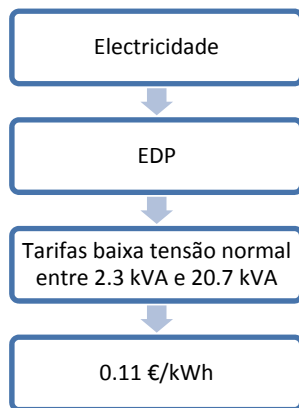


Figura 14 - Preço da Electricidade em Portugal [11]

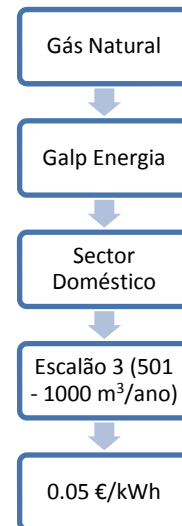


Figura 15 - Preço do Gás Natural em Portugal [12]

Nas Figuras 16 e 17 vemos os valores praticados em toda a EU, sendo de constatar o facto de o caso Português estar muito próximo do Europeu. Nestes valores estão já contabilizadas todas as taxas normalmente aplicadas, incluindo o termo fixo, factor não considerado no preço português, explicado no ponto seguinte, 3.1.1.4. De realçar que os dados apresentados na Figura 16 estão expressos em Cêntimos/kWh e na Figura 17 estão expressos em €/GigaJoule.

Convertendo para €/kWh o valor do Gás Natural:

$$1 kWh = 1000 \left[\frac{J}{s} \right] * 3600 s = 3.6 * 10^6 J = 3.6 * 10^{-3} GJ \quad (3)$$

→ Média EU-27 – 14.95 €/GJ = 0.054 €/kWh

→ Caso Português – 13.88 €/GJ = 0.050 €/kWh

	1997	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Change 2006-2007 (%)
EU-27	:	:	:	:	13.36	13.97	15.28	9.4
EU-15	13.40	13.36	13.55	13.58	13.82	14.40	15.81	9.8
BE	14.58	13.94	13.76	14.22	14.81	14.42	15.81	9.6
BG	:	:	:	5.83	6.44	6.60	6.60	0.0
CZ	:	7.83	7.97	8.07	8.68	9.85	10.67	8.3
DK	16.55	22.02	23.03	22.62	22.78	23.62	25.79	9.2
DE	14.72	16.70	17.08	16.98	17.85	18.32	19.49	6.4
EE	:	5.39	6.49	6.49	6.78	7.31	7.50	2.6
IE	9.18	9.94	11.79	12.56	14.36	14.90	16.62	11.5
EL	7.31	6.30	6.54	6.71	6.88	7.01	7.20	2.7
ES	12.18	10.47	10.63	10.79	10.97	11.47	12.25	6.8
FR	13.17	11.65	11.62	11.94	11.94	11.94	12.11	1.4
IT	22.37	19.01	19.84	19.50	19.70	21.08	23.29	10.5
CY	:	9.29	10.52	10.88	10.74	14.31	13.76	-3.8
LV	:	:	:	5.75	8.28	8.29	6.88	-17.0
LT	:	:	:	6.32	7.18	7.18	7.76	8.1
LU	11.36	12.91	13.35	13.65	14.78	16.03	16.84	5.1
HU	5.68	8.09	8.21	9.92	10.64	10.75	12.22	13.7
MT	4.90	6.31	6.85	6.68	7.64	9.49	9.87	4.0
NL	11.53	16.60	17.58	18.27	19.55	20.87	21.80	4.5
AT	12.69	13.39	13.52	14.16	14.13	13.40	15.45	15.3
PL	:	10.66	10.05	9.04	10.64	11.90	11.84	-0.5
PT	13.43	12.86	13.22	13.50	13.81	14.10	15.00	6.4
RO	:	:	:	:	7.79	9.43	10.17	7.8
SI	8.07	10.29	10.00	10.10	10.33	10.49	10.64	1.4
SK	:	:	:	12.18	13.38	14.48	15.37	6.1
FI	9.39	9.36	9.91	10.79	10.57	10.78	11.60	7.6
SE	9.98	11.33	13.49	14.40	13.97	14.35	17.14	19.4
UK	10.49	10.83	10.06	8.78	8.77	10.20	13.16	29.0
HR	:	:	:	:	8.48	9.22	9.23	0.1
NO	10.99	12.95	21.06	13.60	15.71	15.33	18.56	21.1

Note: Based on the standard consumer Dc (3 500 kWh/year) on the 1st of January of each year, weighted by consumption.

Source: Eurostat
Change
2006-2007
(%)

Figura 16 - Preços de Electricidade na UE-27 [13]

	1997	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Change 2006-2007 (%)
EU-27	:	:	:	:	11.21	12.92	14.95	15.7
EU-15	9.70	11.43	11.49	10.93	11.81	13.51	15.67	16.0
BE	8.79	10.51	10.78	10.54	11.16	13.50	12.89	-4.5
BG	:	:	:	6.75	6.73	7.70	8.83	14.7
CZ	:	7.08	6.35	6.57	7.49	10.03	9.45	-5.8
DK	:	17.98	18.98	19.12	28.44	29.82	30.84	3.4
DE	8.77	11.85	12.13	12.33	13.56	15.98	18.45	15.5
EE	:	:	4.64	4.64	4.63	4.63	5.89	27.2
IE	8.60	8.18	8.25	9.00	9.98	12.51	16.73	33.7
ES	10.63	12.14	12.09	11.55	11.90	13.63	14.23	4.4
FR	8.72	10.81	10.65	10.15	10.57	12.72	13.46	5.8
IT	16.14	17.15	16.77	14.92	15.34	16.50	18.34	11.2
LV	:	:	:	4.22	4.54	5.34	7.50	40.4
LT	:	:	:	5.45	5.41	6.24	7.04	12.8
LU	6.10	7.04	7.33	7.07	8.14	10.33	11.52	11.5
HU	3.36	4.35	4.41	4.76	5.10	5.28	7.16	35.6
NL	8.29	11.55	13.08	13.19	15.17	16.92	18.42	8.9
AT	11.30	11.84	12.26	13.71	13.36	15.65	15.99	2.2
PL	:	8.10	7.20	6.34	7.55	9.46	10.69	13.0
PT	:	13.85	13.34	12.05	12.34	14.52	13.88	-4.4
RO	:	:	:	:	4.79	7.66	9.05	18.1
SI	5.57	9.81	9.87	9.64	10.33	12.99	13.86	6.7
SK	:	:	:	7.27	8.14	10.88	11.48	5.5
FI	7.08	:	:	:	:	:	:	:
SE	12.40	17.26	18.32	19.57	22.18	25.95	26.58	2.4
UK	6.83	6.97	6.89	6.83	7.26	8.24	11.76	42.7
HR	:	:	:	:	7.99	8.18	8.18	0.0

Note: Based on the standard domestic consumer D3 (83.70 GJ/year) on the 1st of January of each calendar year.

Source: Eurostat

Figura 17 - Preços do Gás Natural na UE-27 [13]

3.1.1.4. Termo fixo da Electricidade e Gás Natural

Numa habitação familiar, ao consumo mensal de electricidade e gás natural, está acoplado um termo fixo resultado da utilização de um contador e da própria rede de abastecimento, entre outras despesas. Tal valor não foi considerado nas duas formas de energia utilizadas, na medida em que não seria razoável considerar a ventilação como a única fonte de consumo de tais formas de energia. Consumos como a iluminação, aparelhos domésticos e aquecimento de águas também têm a sua fatia de dispêndio, sendo por isso igualmente responsáveis pelos factores fixos referidos.

3.1.1.5. Eficiência do recuperador de calor

Como referido no ponto 2.5.3.2 o valor utilizado no processo de cálculo será o de 75%, pelas razões apresentadas.

3.1.1.6. Taxas de renovação por hora

A única exigência por parte do regulamento RCCTE em termos de ventilação, no seu Anexo IV, está no cálculo de N_{ic} , impondo a utilização de um valor mínimo de taxas de renovação.

No caso da Ventilação Natural a definição do valor de rph segue duas opções distintas como se constata na Figura 18:

- Caso o edifício cumpra a Norma NP 1037-1, considera-se 0.6 rph. [5]
- Caso o edifício não cumpra a NP 1037-1, e o único dispositivo de ventilação mecânica presente no edifício ser o exaustor de cozinha, sendo assim considerado como ventilado naturalmente, dado a baixa frequência com que é utilizado, o valor de rph é função da tipologia do edifício, da sua exposição ao vento e da permeabilidade ao ar da sua envolvente.

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12207)								Edifícios conformes com a NP 1037-1
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
1	Sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

Figura 18 - Valores convencionais de rph em edifícios ventilados naturalmente [7]

Atendendo ao facto de o projecto em questão ter como objectivo abranger edifícios em diferentes climas, não particularizando o edifício, para o caso da ventilação natural considera-se uma taxa de renovação de 1 rph.

No caso da Ventilação Mecânica, a determinação da taxa de renovação rege-se por algumas variáveis, entre elas a classe de exposição do edifício ao vento, e o grau de desequilíbrio entre os caudais de insuflação e extracção, de modo a saber se a Ventilação Natural continua a estar presente ou não. Assim, e de modo também a generalizar o estudo, no processo de cálculo considera-se o valor mínimo exigido para cálculo das necessidades N_{ic} , 0.6 rph. Aplicável aos dois sistemas de ventilação mecânica, sem RC e com RC.

3.1.2. Folha de cálculo

3.1.2.1. Método

Este projecto recorreu ao uso do software Microsoft Excel, para a elaboração de uma folha de cálculo que implementou uma metodologia capaz de obter valores de uma forma simples, e de fácil observação, para variadas configurações dos parâmetros já referidos.

A análise focou-se nas duas vertentes de consumo energético consideradas neste projecto:

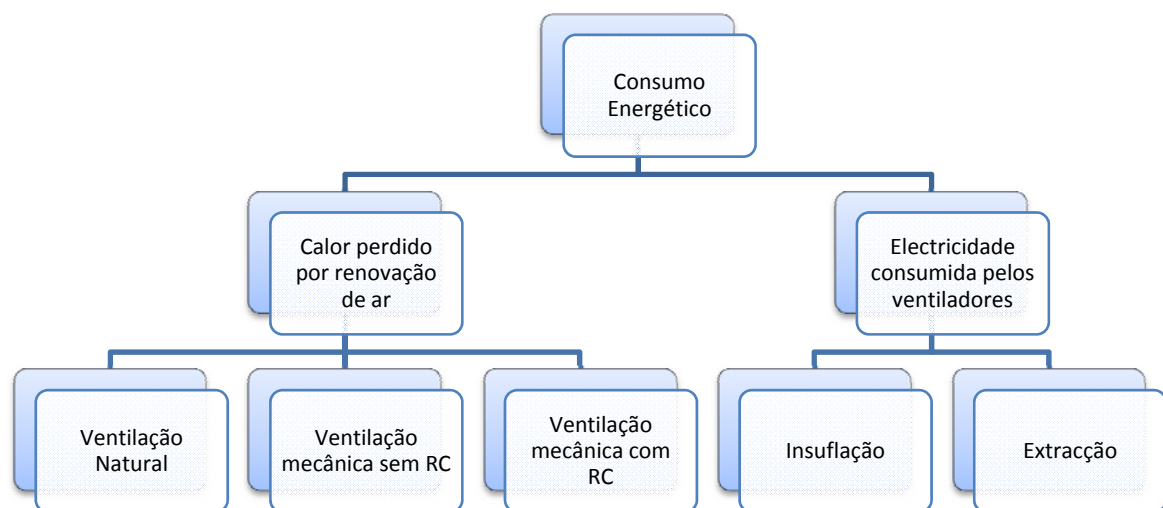


Figura 19 - Organograma base do processo de cálculo

1. Calor perdido por renovação de ar

Atendendo às perdas de calor resultantes da renovação de ar, e já analisadas no ponto 2.4, contabilizou-se a energia gasta neste processo em duas parcelas distintas:

→ Calor perdido na renovação de ar não sujeito a RC;

Esta parcela foi obtida recorrendo à metodologia exposta no RCCTE, e demonstrada no ponto 2.4, através da Equação 3.

$$Q_v = 0.024 * (0.34 * R_{ph} * A_p * P_d) * GD \quad (3)$$

Nesta parcela existem diferentes princípios para cada sistema de ventilação:

a. Ventilação natural

Renovação do espaço interior realizada pelos processos já referidos, sendo considerada 1 rph de taxa de renovação horária.

b. Ventilação mecânica sem RC

Considerando a inexistência de infiltrações, devido ao desequilíbrio existente, todo o calor perdido será pela extracção de ar. Assim considera-se 0.6 rph como taxa de renovação nominal, o mínimo recomendado pelo RCCTE para mecanismos de ventilação mecânica.

c. Ventilação mecânica com RC

Neste ultimo sistema, e considerando uma igualdade de caudais de insuflação e extracção é considerada a existência de infiltrações. Esta parcela do calor perdido pela renovação de ar não sujeito a RC, irá retratar a energia perdida nas infiltrações. O valor de rph será assim variável consoante o parâmetro permeabilidade, para o qual se consideram os valores de 0.1, 0.3 ou 0.6 rph.

→ Calor perdido na renovação de ar sujeito a RC

No caso do sistema de ventilação com RC, considera-se uma parcela que reflecte a energia calorífica do caudal de ar que passa no RC realmente perdida para o exterior, sendo por isso necessário repor na habitação. Assim, e tendo mais uma vez como guia o RCCTE, no seu ponto 3.1 do Anexo IV, utilizou-se a Equação 5, de modo a calcular essa perda energética devido a transferência de calor não ser total no RC.

$$Q_v = 0.024 * (0.34 * R_{ph} * A_p * P_d) * GD * (1 - \varepsilon) \quad (5)$$

Sendo ε a eficiência do RC considerado. Assim e quanto maior a eficiência do recuperador, menor será a energia que é necessário fornecer para obter as condições interiores de referência.

Neste item, e atendendo ao facto de estarmos perante um cenário de recuperação de calor, o volume de ar extraído pelos ventiladores será de 0.6 rph, igualando assim o caudal de insuflação, permitindo uma recuperação de calor no máximo da eficiência. Assim as restantes perdas serão devidas às infiltrações resultantes da equidade de pressões entre o interior e o exterior, dependentes da permeabilidade da envolvente.

2. Electricidade consumida pelos ventiladores

Como já referido, ao uso dos ventiladores responsáveis pela circulação do ar de modo a garantir a QAI, acresce um consumo energético importante no projecto em estudo.

Assim no caso da ventilação mecânica sem RC, haverá consumo eléctrico do ventilador de extracção, ao passo que na ventilação mecânica com RC, existirá consumo eléctrico com o ventilador de insuflação e extracção.

Em ambos os casos o consumo em kWh foi calculado por:

$$E_v = V_{ar\ transferido} * M * (SFP_i + SFP_e) * n^o\ de\ horas\ em\ 1\ mês * (1 * 10^{-3}) \quad (6)$$

Com:

$V_{ar\ transferido}$ - Volume de ar transferido resultante das renovações horárias respectivas de cada sistema de ventilação mecânico;

M – número de meses de funcionamento dos ventiladores. Considera-se que os ventiladores funcionam os 12 meses do ano, de modo a garantirem a necessária renovação de ar dentro da habitação, garantindo a QAI;

SFP_i – Eficiência energética directa do ventilador de insuflação;

SFP_e – Eficiência energética directa do ventilador de extracção.

3.1.2.2. Análise de custo

Sabendo-se das disfunções frequentemente existentes entre Ambiente e Economia, decidiu-se fazer uma análise de custo em paralelo à energia primária, sendo igualmente referenciada por unidade de área, €/m².

Este processo de cálculo foi realizado através dos custos da Electricidade e Gás Natural apresentados na secção 3.1.1.3, convertendo os valores de kWh de Electricidade e kWh de Calor obtidos pelo método de cálculo apresentados na secção 3.1.2.1, em Euros. O processo foi aplicado nos dois contextos em análise, Europeu e Português.

Deste modo teremos duas perspectivas diferentes da eficiência desejada, existindo situações em que a redução de energia primária, com a consequente diminuição de emissões de CO₂, não compensa os gastos económicos directamente imputados ao utilizador.

3.2. Contexto Europeu

Principal âmbito deste projecto, o contexto climático europeu caracteriza-se por distintos climas com necessidades diversas em termos de aquecimento e arrefecimento. Desde a zona do Mediterrâneo até à Península Escandinava, passando pela zona da Europa Central, são vários os climas a propiciar diferentes sistemas de ventilação.

Na Figura 20 vemos o mapa da Europa dos GD [14] entendendo assim a variabilidade de climas e a gama de GD utilizada nesta análise energética, que no caso europeu foi de 500 a 6000 GD, sendo o intervalo de 500 GD, tentando assim cobrir o mapa com razoável resolução. Nesta gama de valores não foram considerados os valores de 4500, 5000 e 5500, sendo considerado o valor limite de 6000 referência para os climas muito severos.

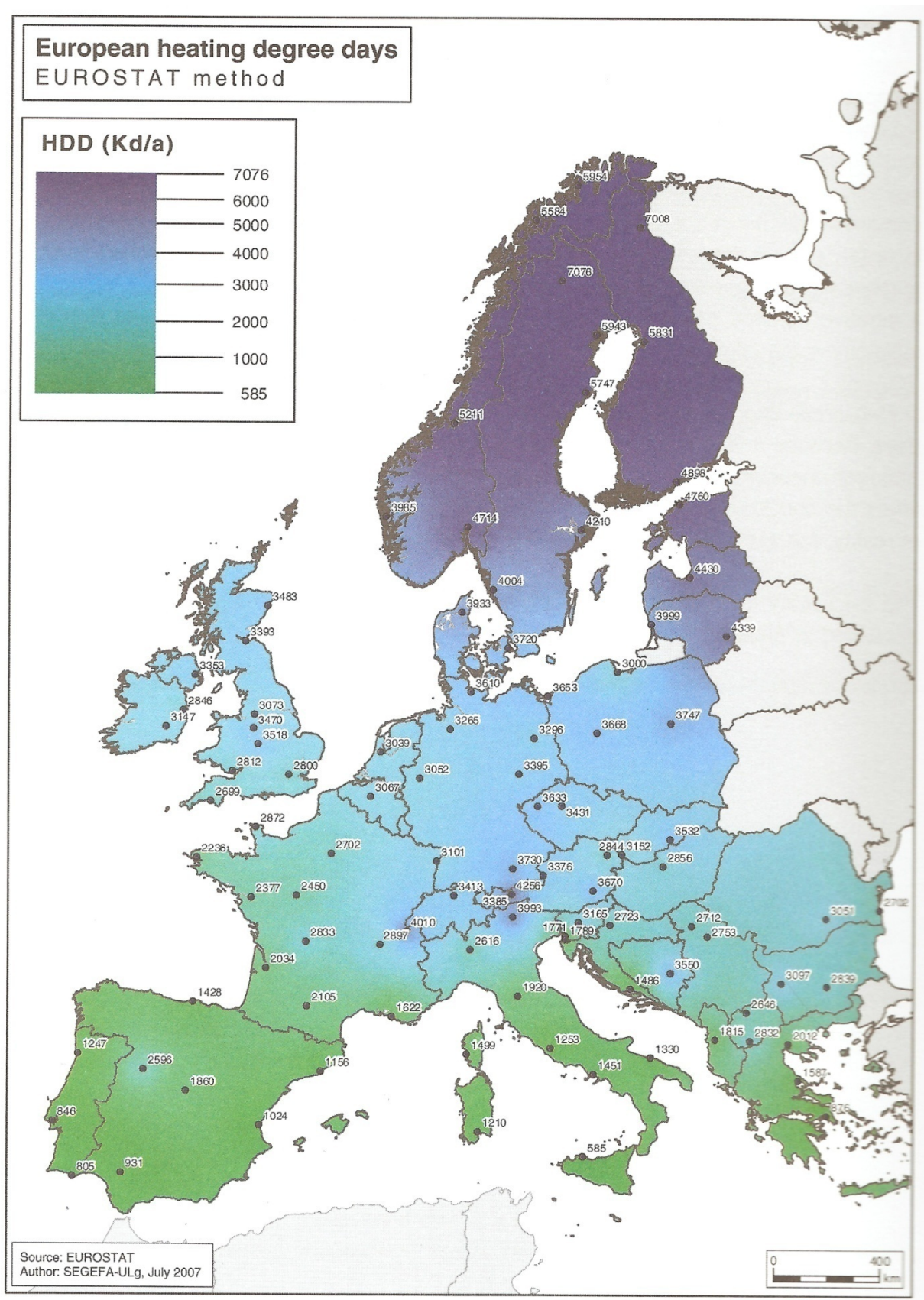


Figura 20 - Mapa Europeu de Graus-Dias [14]

3.2.1. Resultados

Após os cálculos efectuados de acordo com a metodologia detalhada na secção 3.1.2.1, os resultados foram agrupados sob a forma de tabelas resumo onde foi realizada a análise dos dados (Tabelas 1 a 9), sendo esta auxiliada por gráficos como o disponível na Figura 21, onde se procede à separação das duas formas de energia analisadas, calor e electricidade. Assim se consegue ver a evolução dos gastos destes dois tipos de energia em função da combinação GD/Permeabilidade/SFP. No Anexo A estão disponíveis todos os gráficos das 9 combinações diferentes em análise.

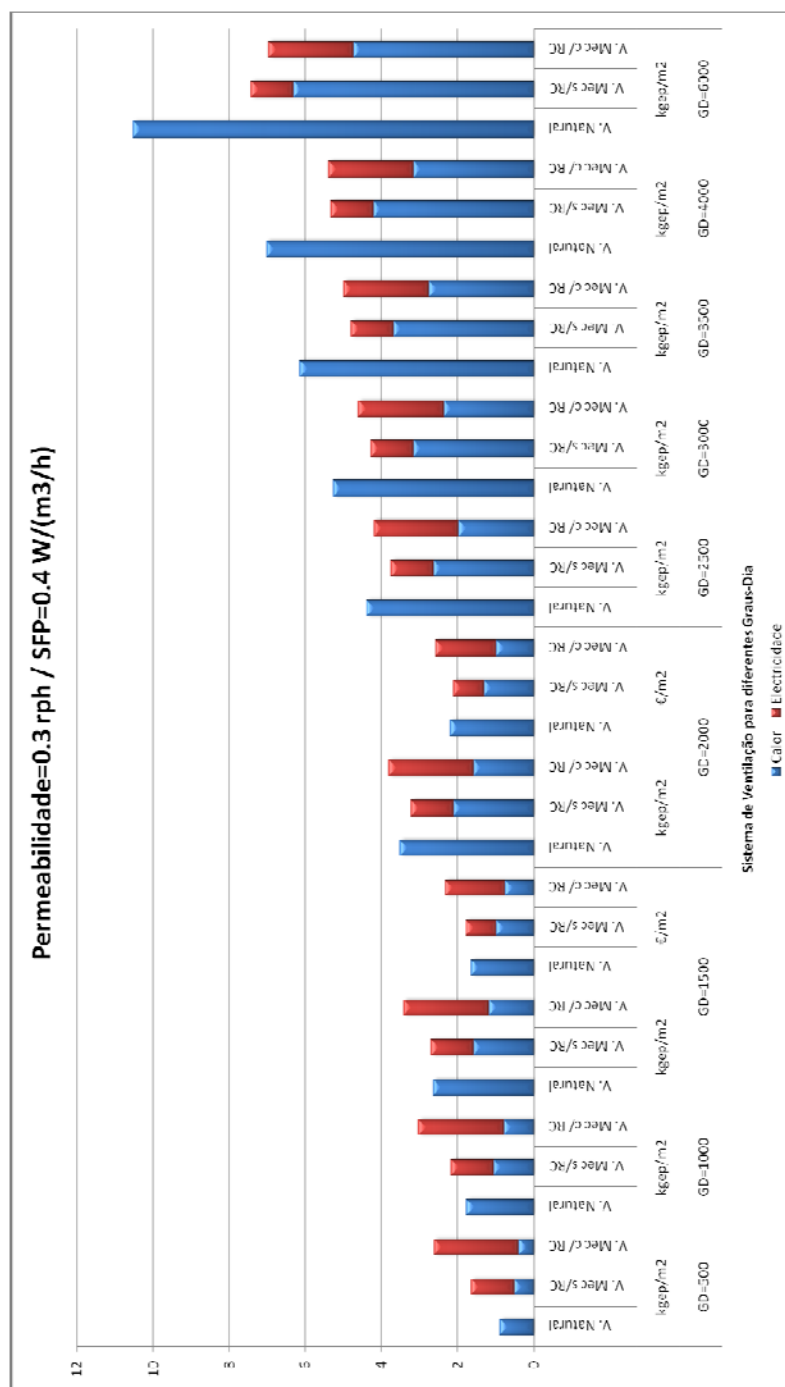


Figura 21 - Exemplo de gráfico resumo (Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.4 W/(m³/h))

Tabela 1 - Análise energética
Permeabilidade=0.6 rph e SFP=0.4 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

		Permeabilidade SFP	0,6 0,4	rph W/(m³/h)	
		Calor	Electricidade	Total	
GD=500	kgep/m²	V. Natural	0,9	0,0	0,9
		V. Mec s/RC	0,5	1,1	1,6
		V. Mec c/ RC	0,7	2,2	2,9
	€/m²	V. Natural	0,55	0,00	0,5
		V. Mec s/RC	0,33	0,79	1,1
		V. Mec c/ RC	0,41	1,58	2,0
GD=1000	kgep/m²	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	1,1	2,2
		V. Mec c/ RC	1,3	2,2	3,5
	€/m²	V. Natural	1,10	0,00	1,1
		V. Mec s/RC	0,66	0,79	1,5
		V. Mec c/ RC	0,82	1,58	2,4
GD=1500	kgep/m²	V. Natural	2,6	0,0	2,6
		V. Mec s/RC	1,6	1,1	2,7
		V. Mec c/ RC	2,0	2,2	4,2
	€/m²	V. Natural	1,65	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,99	0,79	1,8
		V. Mec c/ RC	1,24	1,58	2,8
GD=2000	kgep/m²	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	1,1	3,2
		V. Mec c/ RC	2,6	2,2	4,9
	€/m²	V. Natural	2,20	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,32	0,79	2,1
		V. Mec c/ RC	1,65	1,58	3,2
GD=2500	kgep/m²	V. Natural	4,4	0,0	4,4
		V. Mec s/RC	2,6	1,1	3,7
		V. Mec c/ RC	3,3	2,2	5,5
	€/m²	V. Natural	2,74	0,00	2,7
		V. Mec s/RC	1,65	0,79	2,4
		V. Mec c/ RC	2,06	1,58	3,6
GD=3000	kgep/m²	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	1,1	4,3
		V. Mec c/ RC	3,9	2,2	6,2
	€/m²	V. Natural	3,29	0,00	3,3
		V. Mec s/RC	1,98	0,79	2,8
		V. Mec c/ RC	2,47	1,58	4,1
GD=3500	kgep/m²	V. Natural	6,1	0,0	6,1
		V. Mec s/RC	3,7	1,1	4,8
		V. Mec c/ RC	4,6	2,2	6,8
	€/m²	V. Natural	3,84	0,00	3,8
		V. Mec s/RC	2,31	0,79	3,1
		V. Mec c/ RC	2,88	1,58	4,5
GD=4000	kgep/m²	V. Natural	7,0	0,0	7,0
		V. Mec s/RC	4,2	1,1	5,3
		V. Mec c/ RC	5,3	2,2	7,5
	€/m²	V. Natural	4,39	0,00	4,4
		V. Mec s/RC	2,64	0,79	3,4
		V. Mec c/ RC	3,29	1,58	4,9
GD=6000	kgep/m²	V. Natural	10,5	0,0	10,5
		V. Mec s/RC	6,3	1,1	7,4
		V. Mec c/ RC	7,9	2,2	10,1
	€/m²	V. Natural	6,59	0,00	6,6
		V. Mec s/RC	3,95	0,79	4,7
		V. Mec c/ RC	4,94	1,58	6,5

Tabela 2 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.4 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

		Permeabilidade SFP	0,3 0,4	rph W/(m³/h)	
		Calor	Electricidade	Total	
GD=500	kgep/m²	V. Natural	0,9	0,0	0,9
		V. Mec s/RC	0,5	1,1	1,6
		V. Mec c/ RC	0,4	2,2	2,6
	€/m²	V. Natural	0,55	0,00	0,5
		V. Mec s/RC	0,33	0,79	1,1
		V. Mec c/ RC	0,25	1,58	1,8
GD=1000	kgep/m²	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	1,1	2,2
		V. Mec c/ RC	0,8	2,2	3,0
	€/m²	V. Natural	1,10	0,00	1,1
		V. Mec s/RC	0,66	0,79	1,5
		V. Mec c/ RC	0,49	1,58	2,1
GD=1500	kgep/m²	V. Natural	2,6	0,0	2,6
		V. Mec s/RC	1,6	1,1	2,7
		V. Mec c/ RC	1,2	2,2	3,4
	€/m²	V. Natural	1,65	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,99	0,79	1,8
		V. Mec c/ RC	0,74	1,58	2,3
GD=2000	kgep/m²	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	1,1	3,2
		V. Mec c/ RC	1,6	2,2	3,8
	€/m²	V. Natural	2,20	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,32	0,79	2,1
		V. Mec c/ RC	0,99	1,58	2,6
GD=2500	kgep/m²	V. Natural	4,4	0,0	4,4
		V. Mec s/RC	2,6	1,1	3,7
		V. Mec c/ RC	2,0	2,2	4,2
	€/m²	V. Natural	2,74	0,00	2,7
		V. Mec s/RC	1,65	0,79	2,4
		V. Mec c/ RC	1,24	1,58	2,8
GD=3000	kgep/m²	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	1,1	4,3
		V. Mec c/ RC	2,4	2,2	4,6
	€/m²	V. Natural	3,29	0,00	3,3
		V. Mec s/RC	1,98	0,79	2,8
		V. Mec c/ RC	1,48	1,58	3,1
GD=3500	kgep/m²	V. Natural	6,1	0,0	6,1
		V. Mec s/RC	3,7	1,1	4,8
		V. Mec c/ RC	2,8	2,2	5,0
	€/m²	V. Natural	3,84	0,00	3,8
		V. Mec s/RC	2,31	0,79	3,1
		V. Mec c/ RC	1,73	1,58	3,3
GD=4000	kgep/m²	V. Natural	7,0	0,0	7,0
		V. Mec s/RC	4,2	1,1	5,3
		V. Mec c/ RC	3,2	2,2	5,4
	€/m²	V. Natural	4,39	0,00	4,4
		V. Mec s/RC	2,64	0,79	3,4
		V. Mec c/ RC	1,98	1,58	3,6
GD=6000	kgep/m²	V. Natural	10,5	0,0	10,5
		V. Mec s/RC	6,3	1,1	7,4
		V. Mec c/ RC	4,7	2,2	7,0
	€/m²	V. Natural	6,59	0,00	6,6
		V. Mec s/RC	3,95	0,79	4,7
		V. Mec c/ RC	2,96	1,58	4,5

Tabela 3 - Análise energética
Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.4 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

		Permeabilidade	0,1	rph	
		SFP	0,4	W/(m3/h)	
		Calor	Electricidade	Total	
GD=500	kgep/m2	V. Natural	0,9	0,0	0,9
		V. Mec s/RC	0,5	1,1	1,6
		V. Mec c/ RC	0,2	2,2	2,4
	€/m2	V. Natural	0,55	0,00	0,5
		V. Mec s/RC	0,33	0,79	1,1
		V. Mec c/ RC	0,14	1,58	1,7
GD=1000	kgep/m2	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	1,1	2,2
		V. Mec c/ RC	0,4	2,2	2,7
	€/m2	V. Natural	1,10	0,00	1,1
		V. Mec s/RC	0,66	0,79	1,5
		V. Mec c/ RC	0,27	1,58	1,9
GD=1500	kgep/m2	V. Natural	2,6	0,0	2,6
		V. Mec s/RC	1,6	1,1	2,7
		V. Mec c/ RC	0,7	2,2	2,9
	€/m2	V. Natural	1,65	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,99	0,79	1,8
		V. Mec c/ RC	0,41	1,58	2,0
GD=2000	kgep/m2	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	1,1	3,2
		V. Mec c/ RC	0,9	2,2	3,1
	€/m2	V. Natural	2,20	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,32	0,79	2,1
		V. Mec c/ RC	0,55	1,58	2,1
GD=2500	kgep/m2	V. Natural	4,4	0,0	4,4
		V. Mec s/RC	2,6	1,1	3,7
		V. Mec c/ RC	1,1	2,2	3,3
	€/m2	V. Natural	2,74	0,00	2,7
		V. Mec s/RC	1,65	0,79	2,4
		V. Mec c/ RC	0,69	1,58	2,3
GD=3000	kgep/m2	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	1,1	4,3
		V. Mec c/ RC	1,3	2,2	3,5
	€/m2	V. Natural	3,29	0,00	3,3
		V. Mec s/RC	1,98	0,79	2,8
		V. Mec c/ RC	0,82	1,58	2,4
GD=3500	kgep/m2	V. Natural	6,1	0,0	6,1
		V. Mec s/RC	3,7	1,1	4,8
		V. Mec c/ RC	1,5	2,2	3,8
	€/m2	V. Natural	3,84	0,00	3,8
		V. Mec s/RC	2,31	0,79	3,1
		V. Mec c/ RC	0,96	1,58	2,5
GD=4000	kgep/m2	V. Natural	7,0	0,0	7,0
		V. Mec s/RC	4,2	1,1	5,3
		V. Mec c/ RC	1,8	2,2	4,0
	€/m2	V. Natural	4,39	0,00	4,4
		V. Mec s/RC	2,64	0,79	3,4
		V. Mec c/ RC	1,10	1,58	2,7
GD=6000	kgep/m2	V. Natural	10,5	0,0	10,5
		V. Mec s/RC	6,3	1,1	7,4
		V. Mec c/ RC	2,6	2,2	4,9
	€/m2	V. Natural	6,59	0,00	6,6
		V. Mec s/RC	3,95	0,79	4,7
		V. Mec c/ RC	1,65	1,58	3,2

Tabela 4 - Análise energética
Permeabilidade=0.6 rph e SFP=1 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

Permeabilidade		0,6	rph	
SFP		1	W/(m3/h)	
		Calor	Electricidade	Total
	0,9	0,0		0,9
	0,5	2,8		3,3
	0,7	5,6		6,2
	0,55	0,00		0,5
	0,33	1,98		2,3
	0,41	3,96		4,4
	1,8	0,0		1,8
	1,1	2,8		3,8
	1,3	5,6		6,9
	1,10	0,00		1,1
	0,66	1,98		2,6
	0,82	3,96		4,8
	2,6	0,0		2,6
	1,6	2,8		4,4
	2,0	5,6		7,5
	1,65	0,00		1,6
	0,99	1,98		3,0
	1,24	3,96		5,2
	3,5	0,0		3,5
	2,1	2,8		4,9
	2,6	5,6		8,2
	2,20	0,00		2,2
	1,32	1,98		3,3
	1,65	3,96		5,6
	4,4	0,0		4,4
	2,6	2,8		5,4
	3,3	5,6		8,9
	2,74	0,00		2,7
	1,65	1,98		3,6
	2,06	3,96		6,0
	5,3	0,0		5,3
	3,2	2,8		5,9
	3,9	5,6		9,5
	3,29	0,00		3,3
	1,98	1,98		4,0
	2,47	3,96		6,4
	6,1	0,0		6,1
	3,7	2,8		6,5
	4,6	5,6		10,2
	3,84	0,00		3,8
	2,31	1,98		4,3
	2,88	3,96		6,8
	7,0	0,0		7,0
	4,2	2,8		7,0
	5,3	5,6		10,8
	4,39	0,00		4,4
	2,64	1,98		4,6
	3,29	3,96		7,3
	10,5	0,0		10,5
	6,3	2,8		9,1
	7,9	5,6		13,5
	6,59	0,00		6,6
	3,95	1,98		5,9
	4,94	3,96		8,9

Tabela 5 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=1 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

		Permeabilidade SFP		0,3 1	rph W/(m3/h)	
		Calor	Electricidade	Total		
GD=500	kgep/m2	V. Natural	0,9	0,0		0,9
		V. Mec s/RC	0,5	2,8		3,3
		V. Mec c/ RC	0,4	5,6		6,0
	€/m2	V. Natural	0,55	0,00		0,5
		V. Mec s/RC	0,33	1,98		2,3
		V. Mec c/ RC	0,25	3,96		4,2
GD=1000	kgep/m2	V. Natural	1,8	0,0		1,8
		V. Mec s/RC	1,1	2,8		3,8
		V. Mec c/ RC	0,8	5,6		6,4
	€/m2	V. Natural	1,10	0,00		1,1
		V. Mec s/RC	0,66	1,98		2,6
		V. Mec c/ RC	0,49	3,96		4,5
GD=1500	kgep/m2	V. Natural	2,6	0,0		2,6
		V. Mec s/RC	1,6	2,8		4,4
		V. Mec c/ RC	1,2	5,6		6,8
	€/m2	V. Natural	1,65	0,00		1,6
		V. Mec s/RC	0,99	1,98		3,0
		V. Mec c/ RC	0,74	3,96		4,7
GD=2000	kgep/m2	V. Natural	3,5	0,0		3,5
		V. Mec s/RC	2,1	2,8		4,9
		V. Mec c/ RC	1,6	5,6		7,2
	€/m2	V. Natural	2,20	0,00		2,2
		V. Mec s/RC	1,32	1,98		3,3
		V. Mec c/ RC	0,99	3,96		4,9
GD=2500	kgep/m2	V. Natural	4,4	0,0		4,4
		V. Mec s/RC	2,6	2,8		5,4
		V. Mec c/ RC	2,0	5,6		7,5
	€/m2	V. Natural	2,74	0,00		2,7
		V. Mec s/RC	1,65	1,98		3,6
		V. Mec c/ RC	1,24	3,96		5,2
GD=3000	kgep/m2	V. Natural	5,3	0,0		5,3
		V. Mec s/RC	3,2	2,8		5,9
		V. Mec c/ RC	2,4	5,6		7,9
	€/m2	V. Natural	3,29	0,00		3,3
		V. Mec s/RC	1,98	1,98		4,0
		V. Mec c/ RC	1,48	3,96		5,4
GD=3500	kgep/m2	V. Natural	6,1	0,0		6,1
		V. Mec s/RC	3,7	2,8		6,5
		V. Mec c/ RC	2,8	5,6		8,3
	€/m2	V. Natural	3,84	0,00		3,8
		V. Mec s/RC	2,31	1,98		4,3
		V. Mec c/ RC	1,73	3,96		5,7
GD=4000	kgep/m2	V. Natural	7,0	0,0		7,0
		V. Mec s/RC	4,2	2,8		7,0
		V. Mec c/ RC	3,2	5,6		8,7
	€/m2	V. Natural	4,39	0,00		4,4
		V. Mec s/RC	2,64	1,98		4,6
		V. Mec c/ RC	1,98	3,96		5,9
GD=6000	kgep/m2	V. Natural	10,5	0,0		10,5
		V. Mec s/RC	6,3	2,8		9,1
		V. Mec c/ RC	4,7	5,6		10,3
	€/m2	V. Natural	6,59	0,00		6,6
		V. Mec s/RC	3,95	1,98		5,9
		V. Mec c/ RC	2,96	3,96		6,9

Tabela 6 - Análise energética
Permeabilidade=0.1 rph e SFP=1 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

Permeabilidade		0,1	rph
SFP		1	W/(m3/h)
Calor	Electricidade	Total	
0,9	0,0	0,9	
0,5	2,8	3,3	
0,2	5,6	5,8	
0,55	0,00	0,5	
0,33	1,98	2,3	
0,14	3,96	4,1	
1,8	0,0	1,8	
1,1	2,8	3,8	
0,4	5,6	6,0	
1,10	0,00	1,1	
0,66	1,98	2,6	
0,27	3,96	4,2	
2,6	0,0	2,6	
1,6	2,8	4,4	
0,7	5,6	6,2	
1,65	0,00	1,6	
0,99	1,98	3,0	
0,41	3,96	4,4	
3,5	0,0	3,5	
2,1	2,8	4,9	
0,9	5,6	6,5	
2,20	0,00	2,2	
1,32	1,98	3,3	
0,55	3,96	4,5	
4,4	0,0	4,4	
2,6	2,8	5,4	
1,1	5,6	6,7	
2,74	0,00	2,7	
1,65	1,98	3,6	
0,69	3,96	4,6	
5,3	0,0	5,3	
3,2	2,8	5,9	
1,3	5,6	6,9	
3,29	0,00	3,3	
1,98	1,98	4,0	
0,82	3,96	4,8	
6,1	0,0	6,1	
3,7	2,8	6,5	
1,5	5,6	7,1	
3,84	0,00	3,8	
2,31	1,98	4,3	
0,96	3,96	4,9	
7,0	0,0	7,0	
4,2	2,8	7,0	
1,8	5,6	7,3	
4,39	0,00	4,4	
2,64	1,98	4,6	
1,10	3,96	5,1	
10,5	0,0	10,5	
6,3	2,8	9,1	
2,6	5,6	8,2	
6,59	0,00	6,6	
3,95	1,98	5,9	
1,65	3,96	5,6	

Tabela 7 - Análise energética
Permeabilidade=0.6 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

		Permeabilidade		0,6	rph
		SFP		0,1	W/(m3/h)
		Calor	Electricidade	Total	
GD=500	kgep/m2	V. Natural	0,9	0,0	0,9
		V. Mec s/RC	0,5	0,3	0,8
		V. Mec c/ RC	0,7	0,6	1,2
	€/m2	V. Natural	0,55	0,00	0,5
		V. Mec s/RC	0,33	0,20	0,5
		V. Mec c/ RC	0,41	0,40	0,8
GD=1000	kgep/m2	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	0,3	1,3
		V. Mec c/ RC	1,3	0,6	1,9
	€/m2	V. Natural	1,10	0,00	1,1
		V. Mec s/RC	0,66	0,20	0,9
		V. Mec c/ RC	0,82	0,40	1,2
GD=1500	kgep/m2	V. Natural	2,6	0,0	2,6
		V. Mec s/RC	1,6	0,3	1,9
		V. Mec c/ RC	2,0	0,6	2,5
	€/m2	V. Natural	1,65	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,99	0,20	1,2
		V. Mec c/ RC	1,24	0,40	1,6
GD=2000	kgep/m2	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	0,3	2,4
		V. Mec c/ RC	2,6	0,6	3,2
	€/m2	V. Natural	2,20	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,32	0,20	1,5
		V. Mec c/ RC	1,65	0,40	2,0
GD=2500	kgep/m2	V. Natural	4,4	0,0	4,4
		V. Mec s/RC	2,6	0,3	2,9
		V. Mec c/ RC	3,3	0,6	3,8
	€/m2	V. Natural	2,74	0,00	2,7
		V. Mec s/RC	1,65	0,20	1,8
		V. Mec c/ RC	2,06	0,40	2,5
GD=3000	kgep/m2	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	0,3	3,4
		V. Mec c/ RC	3,9	0,6	4,5
	€/m2	V. Natural	3,29	0,00	3,3
		V. Mec s/RC	1,98	0,20	2,2
		V. Mec c/ RC	2,47	0,40	2,9
GD=3500	kgep/m2	V. Natural	6,1	0,0	6,1
		V. Mec s/RC	3,7	0,3	4,0
		V. Mec c/ RC	4,6	0,6	5,2
	€/m2	V. Natural	3,84	0,00	3,8
		V. Mec s/RC	2,31	0,20	2,5
		V. Mec c/ RC	2,88	0,40	3,3
GD=4000	kgep/m2	V. Natural	7,0	0,0	7,0
		V. Mec s/RC	4,2	0,3	4,5
		V. Mec c/ RC	5,3	0,6	5,8
	€/m2	V. Natural	4,39	0,00	4,4
		V. Mec s/RC	2,64	0,20	2,8
		V. Mec c/ RC	3,29	0,40	3,7
GD=6000	kgep/m2	V. Natural	10,5	0,0	10,5
		V. Mec s/RC	6,3	0,3	6,6
		V. Mec c/ RC	7,9	0,6	8,5
	€/m2	V. Natural	6,59	0,00	6,6
		V. Mec s/RC	3,95	0,20	4,2
		V. Mec c/ RC	4,94	0,40	5,3

Tabela 8 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

Permeabilidade		0,3	rph	
SFP		0,1	W/(m3/h)	
		Calor	Electricidade	Total
	0,9	0,0		0,9
	0,5	0,3		0,8
	0,4	0,6		1,0
	0,55	0,00		0,5
	0,33	0,20		0,5
	0,25	0,40		0,6
	1,8	0,0		1,8
	1,1	0,3		1,3
	0,8	0,6		1,3
	1,10	0,00		1,1
	0,66	0,20		0,9
	0,49	0,40		0,9
	2,6	0,0		2,6
	1,6	0,3		1,9
	1,2	0,6		1,7
	1,65	0,00		1,6
	0,99	0,20		1,2
	0,74	0,40		1,1
	3,5	0,0		3,5
	2,1	0,3		2,4
	1,6	0,6		2,1
	2,20	0,00		2,2
	1,32	0,20		1,5
	0,99	0,40		1,4
	4,4	0,0		4,4
	2,6	0,3		2,9
	2,0	0,6		2,5
	2,74	0,00		2,7
	1,65	0,20		1,8
	1,24	0,40		1,6
	5,3	0,0		5,3
	3,2	0,3		3,4
	2,4	0,6		2,9
	3,29	0,00		3,3
	1,98	0,20		2,2
	1,48	0,40		1,9
	6,1	0,0		6,1
	3,7	0,3		4,0
	2,8	0,6		3,3
	3,84	0,00		3,8
	2,31	0,20		2,5
	1,73	0,40		2,1
	7,0	0,0		7,0
	4,2	0,3		4,5
	3,2	0,6		3,7
	4,39	0,00		4,4
	2,64	0,20		2,8
	1,98	0,40		2,4
	10,5	0,0		10,5
	6,3	0,3		6,6
	4,7	0,6		5,3
	6,59	0,00		6,6
	3,95	0,20		4,2
	2,96	0,40		3,4

Tabela 9 - Análise energética Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Europeu)

		Permabilidade	0,1 rph			
		SFP	0,1 W/(m³/h)			
				Calor	Electricidade	Total
GD=500	kgep/m²	V. Natural		0,9	0,0	0,9
		V. Mec s/RC		0,5	0,3	0,8
		V. Mec c/ RC		0,2	0,6	0,8
	€/m²	V. Natural		0,55	0,00	0,5
		V. Mec s/RC		0,33	0,20	0,5
		V. Mec c/ RC		0,14	0,40	0,5
GD=1000	kgep/m²	V. Natural		1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC		1,1	0,3	1,3
		V. Mec c/ RC		0,4	0,6	1,0
	€/m²	V. Natural		1,10	0,00	1,1
		V. Mec s/RC		0,66	0,20	0,9
		V. Mec c/ RC		0,27	0,40	0,7
GD=1500	kgep/m²	V. Natural		2,6	0,0	2,6
		V. Mec s/RC		1,6	0,3	1,9
		V. Mec c/ RC		0,7	0,6	1,2
	€/m²	V. Natural		1,65	0,00	1,6
		V. Mec s/RC		0,99	0,20	1,2
		V. Mec c/ RC		0,41	0,40	0,8
GD=2000	kgep/m²	V. Natural		3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC		2,1	0,3	2,4
		V. Mec c/ RC		0,9	0,6	1,4
	€/m²	V. Natural		2,20	0,00	2,2
		V. Mec s/RC		1,32	0,20	1,5
		V. Mec c/ RC		0,55	0,40	0,9
GD=2500	kgep/m²	V. Natural		4,4	0,0	4,4
		V. Mec s/RC		2,6	0,3	2,9
		V. Mec c/ RC		1,1	0,6	1,7
	€/m²	V. Natural		2,74	0,00	2,7
		V. Mec s/RC		1,65	0,20	1,8
		V. Mec c/ RC		0,69	0,40	1,1
GD=3000	kgep/m²	V. Natural		5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC		3,2	0,3	3,4
		V. Mec c/ RC		1,3	0,6	1,9
	€/m²	V. Natural		3,29	0,00	3,3
		V. Mec s/RC		1,98	0,20	2,2
		V. Mec c/ RC		0,82	0,40	1,2
GD=3500	kgep/m²	V. Natural		6,1	0,0	6,1
		V. Mec s/RC		3,7	0,3	4,0
		V. Mec c/ RC		1,5	0,6	2,1
	€/m²	V. Natural		3,84	0,00	3,8
		V. Mec s/RC		2,31	0,20	2,5
		V. Mec c/ RC		0,96	0,40	1,4
GD=4000	kgep/m²	V. Natural		7,0	0,0	7,0
		V. Mec s/RC		4,2	0,3	4,5
		V. Mec c/ RC		1,8	0,6	2,3
	€/m²	V. Natural		4,39	0,00	4,4
		V. Mec s/RC		2,64	0,20	2,8
		V. Mec c/ RC		1,10	0,40	1,5
GD=6000	kgep/m²	V. Natural		10,5	0,0	10,5
		V. Mec s/RC		6,3	0,3	6,6
		V. Mec c/ RC		2,6	0,6	3,2
	€/m²	V. Natural		6,59	0,00	6,6
		V. Mec s/RC		3,95	0,20	4,2
		V. Mec c/ RC		1,65	0,40	2,0

3.2.2. Análise de resultados

A partir dos resultados da secção 3.2.1 é possível identificar a solução de ventilação mais eficiente para cada combinação de GD/Permeabilidade/SFP, através de tabelas de fácil compreensão apresentadas de seguida (Tabelas 10 a 18). Nestas GD será a variável principal e Permeabilidade/SFP variáveis secundárias, sendo que a apresentação será realizada sobre a vertente energética, complementada com a vertente económica explicada na secção 3.1.2.2.

Tabela 10 - Análise energética GD=500
(Contexto Europeu)

GD=500		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		0,9 kgep/m²	0,9 kgep/m²	0,8 kgep/m²
		0,5 €/m²	0,5 €/m²	0,5 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		0,9 kgep/m²	0,9 kgep/m²	0,8 kgep/m²
		0,5 €/m²	0,5 €/m²	0,5 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		0,9 kgep/m²	0,9 kgep/m²	0,8 kgep/m²
		0,5 €/m²	0,5 €/m²	0,5 €/m²

Tabela 11 - Análise energética GD=1000
(Contexto Europeu)

GD=1000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		1,8 kgep/m²	1,8 kgep/m²	1,3 kgep/m²
		1,1 €/m²	1,1 €/m²	0,9 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		1,8 kgep/m²	1,8 kgep/m²	1,3 kgep/m²
		1,1 €/m²	1,1 €/m²	0,9 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		1,8 kgep/m²	1,8 kgep/m²	1 kgep/m²
		1,1 €/m²	1,1 €/m²	0,7 €/m²

Tabela 12 - Análise energética GD=1500
(Contexto Europeu)

GD=1500		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		2,6 kgep/m²	2,6 kgep/m²	1,9 kgep/m²
		1,6 €/m²	1,6 €/m²	1,2 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		2,6 kgep/m²	2,6 kgep/m²	1,7 kgep/m²
		1,6 €/m²	1,6 €/m²	1,1 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		2,6 kgep/m²	2,6 kgep/m²	1,2 kgep/m²
		1,6 €/m²	1,6 €/m²	0,8 €/m²

Tabela 13 - Análise energética GD=2000
(Contexto Europeu)

GD=2000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		3,5 kgep/m²	3,2 kgep/m²	2,4 kgep/m²
		2,2 €/m²	2,1 €/m²	1,5 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		3,5 kgep/m²	3,2 kgep/m²	2,1 kgep/m²
		2,2 €/m²	2,1 €/m²	1,4 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		3,5 kgep/m²	3,1 kgep/m²	1,4 kgep/m²
		2,2 €/m²	2,1 €/m²	0,9 €/m²

Tabela 14 - Análise energética GD=2500
(Contexto Europeu)

GD=2500		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		4,4 kgep/m²	3,7 kgep/m²	2,9 kgep/m²
		2,7 €/m²	2,4 €/m²	1,8 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		4,4 kgep/m²	3,7 kgep/m²	2,5 kgep/m²
		2,7 €/m²	2,4 €/m²	1,6 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		4,4 kgep/m²	3,3 kgep/m²	1,7 kgep/m²
		2,7 €/m²	2,3 €/m²	1,1 €/m²

Tabela 15 - Análise energética GD=3000
(Contexto Europeu)

GD=3000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		5,3 kgep/m²	4,3 kgep/m²	3,4 kgep/m²
		3,3 €/m²	2,8 €/m²	2,2 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		5,3 kgep/m²	4,3 kgep/m²	2,9 kgep/m²
		3,3 €/m²	2,8 €/m²	1,9 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		5,3 kgep/m²	3,5 kgep/m²	1,9 kgep/m²
		3,3 €/m²	2,4 €/m²	1,2 €/m²

Tabela 16 - Análise energética GD=3500
(Contexto Europeu)

GD=3500		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		6,1 kgep/m²	4,8 kgep/m²	4 kgep/m²
		3,8 €/m²	3,1 €/m²	2,5 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		6,1 kgep/m²	4,8 kgep/m²	3 kgep/m²
		3,8 €/m²	3,1 €/m²	2,1 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		6,1 kgep/m²	3,8 kgep/m²	2,1 kgep/m²
		3,8 €/m²	2,5 €/m²	1,4 €/m²

Tabela 17 - Análise energética GD=4000
(Contexto Europeu)

GD=4000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		7 kgep/m²	5,3 kgep/m²	4,5 kgep/m²
		4,4 €/m²	3,4 €/m²	2,8 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		7 kgep/m²	5,3 kgep/m²	3,7 kgep/m²
		4,4 €/m²	3,4 €/m²	2,4 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		7 kgep/m²	4 kgep/m²	2,3 kgep/m²
		4,4 €/m²	2,7 €/m²	1,5 €/m²

Tabela 18 - Análise energética GD=6000
(Contexto Europeu)

GD=6000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		9,1 kgep/m²	7,4 kgep/m²	6 kgep/m²
		5,9 €/m²	4,7 €/m²	4,2 €/m²
	0,3	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		9,1 kgep/m²	7 kgep/m²	5,3 kgep/m²
		5,9 €/m²	4,5 €/m²	3,4 €/m²
	0,1	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		8,2 kgep/m²	4,9 kgep/m²	3,2 kgep/m²
		5,6 €/m²	3,2 €/m²	2 €/m²

Esta análise energética permite desde já extrair algumas conclusões significativas:

1. Para um cenário de ventilação ineficiente (SFP= 1), apenas em climas muito frios, e representativos de um nicho muito específico da Europa, $GD \geq 6000$, a Ventilação Natural não se afirma como o sistema de ventilação menos consumidor de energia primária;
2. No caso intermédio da eficiência de ventilação, SFP= 0.4, conclui-se que para a região sul da Europa, regida de um modo geral por $GD \leq 2000$, a Ventilação Natural continua a ser o sistema energeticamente mais eficiente de ventilação de edifícios residenciais, sendo que só para os climas mais frios ($GD \geq 2500$), a Ventilação Mecânica começa a compensar.
3. Com o aumento da eficiência da ventilação (SFP= 0.1) e climas mais agrestes, $GD > 4000$, a Ventilação Mecânica com e sem RC começa a fornecer poupanças muito significativas, sendo que para o topo da eficiência geral, (SFP= 0.1 e Permeabilidade = 0.1), a Ventilação Mecânica com RC é sem duvida o sistema mais poupado em emissões de CO₂ e custos fixos mensais de Electricidade e Gás Natural;
4. A Ventilação Mecânica com RC apenas se revela vantajosa, mesmo com climas frios, quando a envolvente do edificio apresenta baixa permeabilidade a infiltrações e o sistema de ventilação seja bastante eficiente ($SFP \leq 0.4$), sendo em muitos casos necessário o máximo de eficiência, $SFP \leq 0.1$.

A título de exemplo apresenta-se na Figura 22 e 23 uma representação (de baixa resolução) das tendências dos sistemas mais vantajosos, do ponto de vista de energia primária, em várias zonas climáticas europeias e para o binómio Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.4 W/(m³/h), bem como Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.4 W/(m³/h).

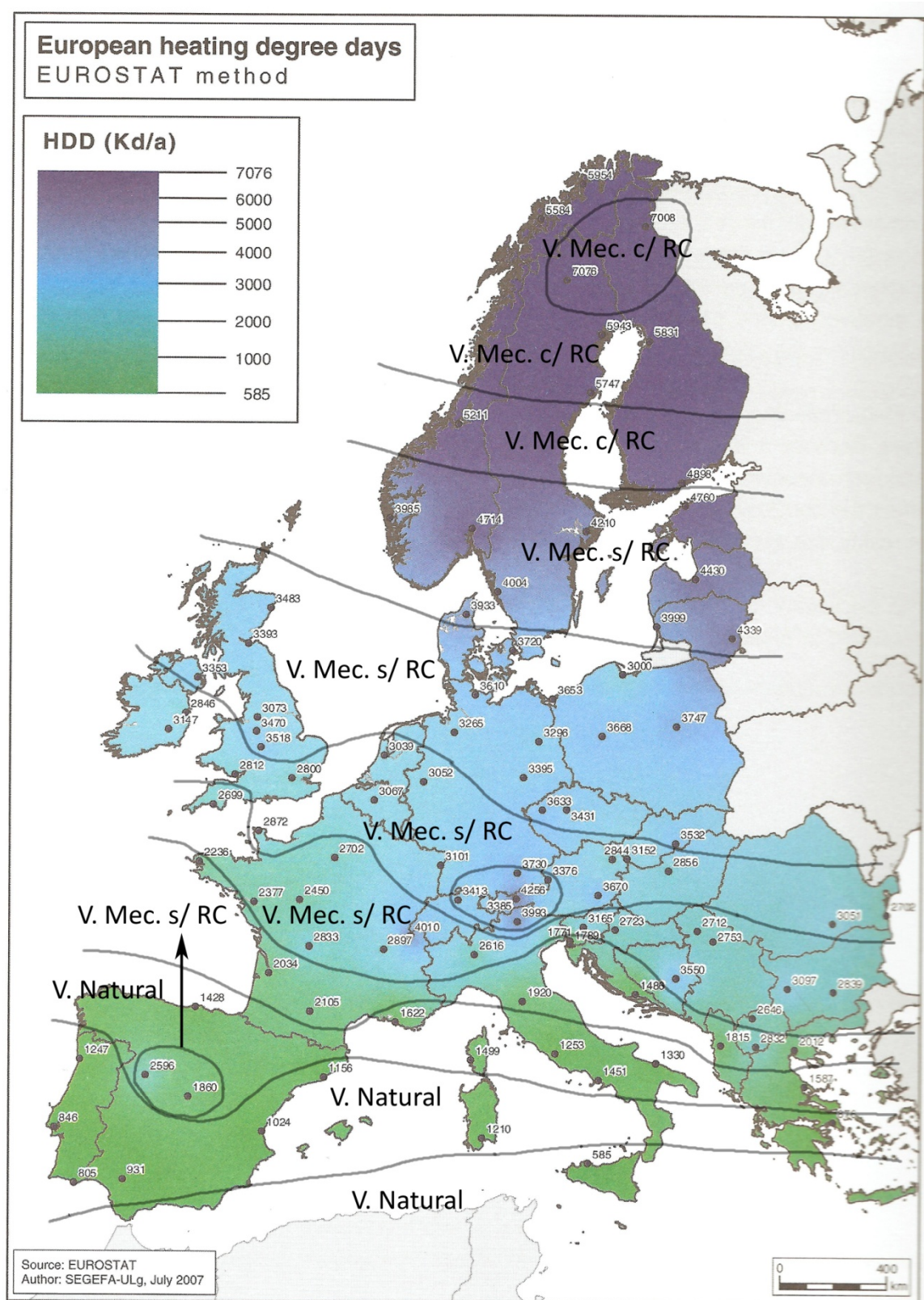


Figura 22 – Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Europeu (permeabilidade do edifício=0.3 rph)

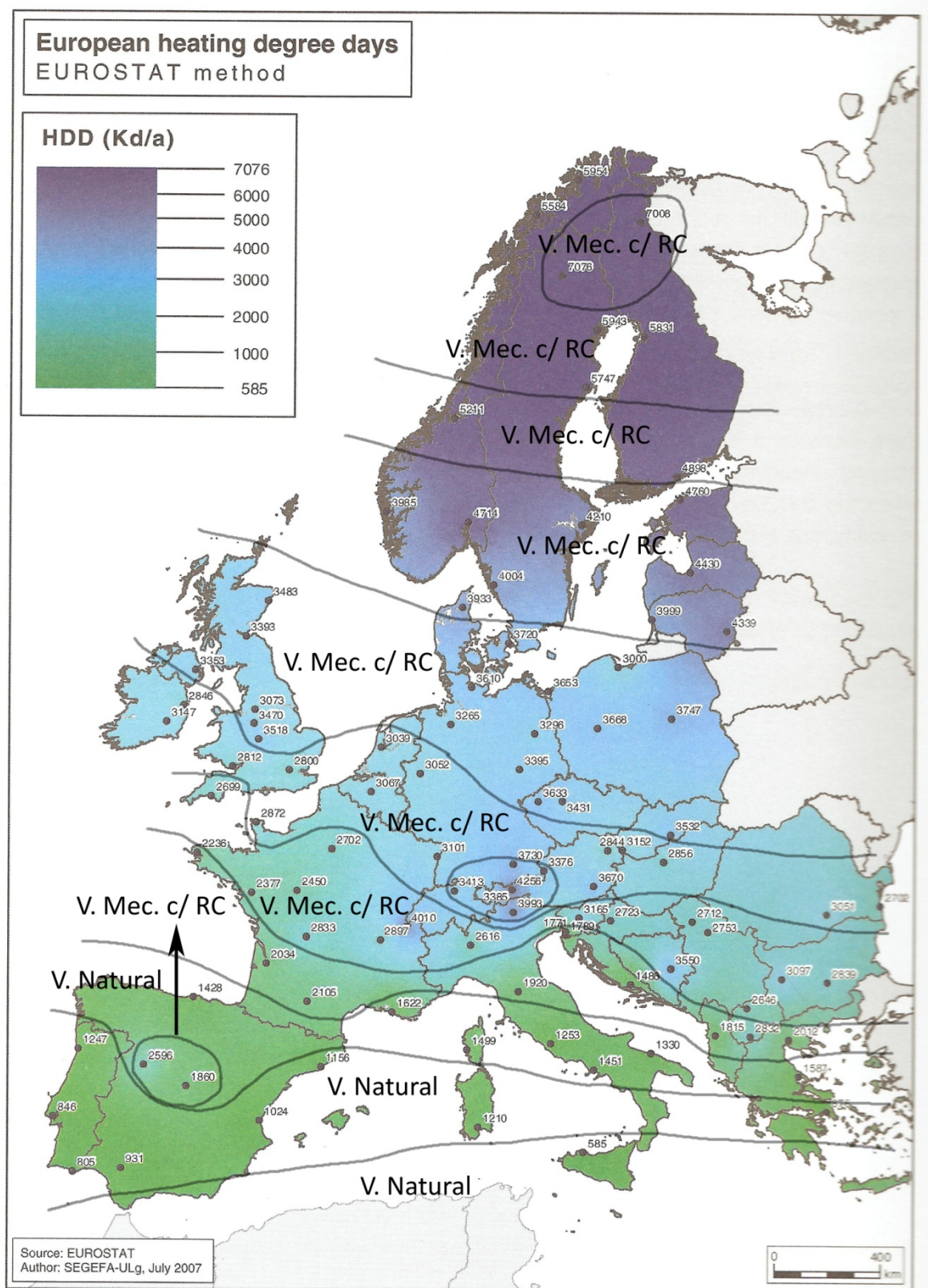


Figura 23 – Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Europeu (permeabilidade do edifício=0.1 rph)

3.3. Contexto Português

Após a criação da folha de cálculo para o clima Europeu, decidiu-se particularizar o estudo para o caso português, com maior resolução de Graus-Dias. Utilizando os valores de GD existentes no Anexo III do RCCTE, Zonamento Climático, e atendendo ao mínimo do concelho de Portimão (940 GD) e ao máximo do concelho de Manteigas (3000), foi definida a gama de análise de GD=1000 a GD=3000, com intervalo de 200 GD.

Assim consegue-se particularizar com algum rigor para os diferentes concelhos existentes no país, como se pode visualizar na Figura 24.

Para o caso das Regiões Autónomas, e de acordo com o mesmo Anexo III do RCCTE, o valor de GD pode ser calculado em função da respectiva altitude (z), e pelas seguintes expressões:

- Região Autónoma dos Açores

$$GD = 1.5 * z + 650 \quad (8)$$

- Região Autónoma da Madeira

$$z < 400 \text{ m} \quad GD = 2.4 * z + 50 \quad (9)$$

$$z > 400 \text{ m} \quad GD = 1.6 * z + 380 \quad (10)$$

No caso de baixas altitudes, principalmente em zonas litorais, o número de Graus-Dias das duas Regiões Autónomas será baixo atendendo às Equações 8 e 9.

Assim e considerando a gama de análise em questão, estas situações poderão ser regidas por GD=500 existente na análise do Contexto Europeu.

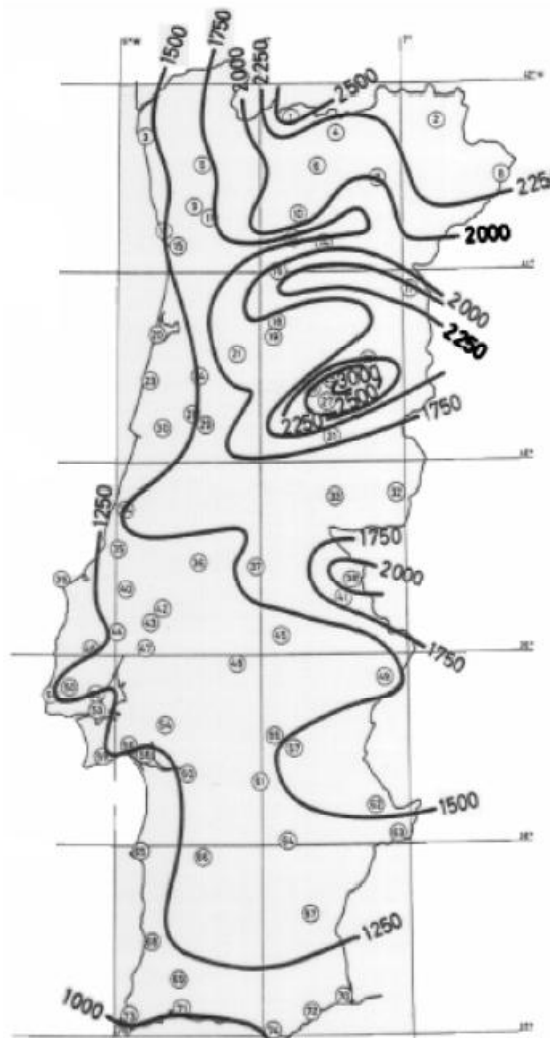


Figura 24 - Mapa de Graus-Dias de Portugal [22]

3.3.1. Resultados

Empregando a mesma metodologia que na secção 3.2.1, serão apresentadas as tabelas resumo para a gama de GD utilizada para particularizar o Contexto Português. No Anexo B estarão disponíveis os gráficos que auxiliaram a análise energética.

Tabela 19 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade 0,6 rph SFP 0,4 W/(m3/h)			
		Calor	Electricidade	Total	
GD=1000	kgep/m2	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	1,5	2,6
		V. Mec c/ RC	1,3	3,0	4,3
	€/m2	V. Natural	1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC	0,61	0,59	1,2
		V. Mec c/ RC	0,76	1,19	1,9
GD=1200	kgep/m2	V. Natural	2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC	1,3	1,5	2,8
		V. Mec c/ RC	1,6	3,0	4,6
	€/m2	V. Natural	1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC	0,73	0,59	1,3
		V. Mec c/ RC	0,91	1,19	2,1
GD=1400	kgep/m2	V. Natural	2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC	1,5	1,5	3,0
		V. Mec c/ RC	1,8	3,0	4,8
	€/m2	V. Natural	1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC	0,85	0,59	1,4
		V. Mec c/ RC	1,07	1,19	2,3
GD=1600	kgep/m2	V. Natural	2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC	1,7	1,5	3,2
		V. Mec c/ RC	2,1	3,0	5,1
	€/m2	V. Natural	1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,98	0,59	1,6
		V. Mec c/ RC	1,22	1,19	2,4
GD=1800	kgep/m2	V. Natural	3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC	1,9	1,5	3,4
		V. Mec c/ RC	2,4	3,0	5,4
	€/m2	V. Natural	1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC	1,10	0,59	1,7
		V. Mec c/ RC	1,37	1,19	2,6
GD=2000	kgep/m2	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	1,5	3,6
		V. Mec c/ RC	2,6	3,0	5,6
	€/m2	V. Natural	2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC	1,22	0,59	1,8
		V. Mec c/ RC	1,52	1,19	2,7
GD=2200	kgep/m2	V. Natural	3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC	2,3	1,5	3,8
		V. Mec c/ RC	2,9	3,0	5,9
	€/m2	V. Natural	2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,34	0,59	1,9
		V. Mec c/ RC	1,68	1,19	2,9
GD=2400	kgep/m2	V. Natural	4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC	2,5	1,5	4,0
		V. Mec c/ RC	3,2	3,0	6,2
	€/m2	V. Natural	2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC	1,46	0,59	2,1
		V. Mec c/ RC	1,83	1,19	3,0
GD=2600	kgep/m2	V. Natural	4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC	2,7	1,5	4,2
		V. Mec c/ RC	3,4	3,0	6,4
	€/m2	V. Natural	2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC	1,59	0,59	2,2
		V. Mec c/ RC	1,98	1,19	3,2
GD=2800	kgep/m2	V. Natural	4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC	2,9	1,5	4,5
		V. Mec c/ RC	3,7	3,0	6,7
	€/m2	V. Natural	2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC	1,71	0,59	2,3
		V. Mec c/ RC	2,13	1,19	3,3
GD=3000	kgep/m2	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	1,5	4,7
		V. Mec c/ RC	3,9	3,0	7,0
	€/m2	V. Natural	3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC	1,83	0,59	2,4
		V. Mec c/ RC	2,29	1,19	3,5

Tabela 20 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade 0,3 rph SFP 0,4 W/(m3/h)			
		Calor	Electricidade	Total	
GD=1000	kgep/m²	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	1,5	2,6
		V. Mec c/ RC	0,8	3,0	3,8
	€/m²	V. Natural	1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC	0,61	0,59	1,2
		V. Mec c/ RC	0,46	1,19	1,6
GD=1200	kgep/m²	V. Natural	2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC	1,3	1,5	2,8
		V. Mec c/ RC	0,9	3,0	4,0
	€/m²	V. Natural	1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC	0,73	0,59	1,3
		V. Mec c/ RC	0,55	1,19	1,7
GD=1400	kgep/m²	V. Natural	2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC	1,5	1,5	3,0
		V. Mec c/ RC	1,1	3,0	4,1
	€/m²	V. Natural	1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC	0,85	0,59	1,4
		V. Mec c/ RC	0,64	1,19	1,8
GD=1600	kgep/m²	V. Natural	2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC	1,7	1,5	3,2
		V. Mec c/ RC	1,3	3,0	4,3
	€/m²	V. Natural	1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,98	0,59	1,6
		V. Mec c/ RC	0,73	1,19	1,9
GD=1800	kgep/m²	V. Natural	3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC	1,9	1,5	3,4
		V. Mec c/ RC	1,4	3,0	4,4
	€/m²	V. Natural	1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC	1,10	0,59	1,7
		V. Mec c/ RC	0,82	1,19	2,0
GD=2000	kgep/m²	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	1,5	3,6
		V. Mec c/ RC	1,6	3,0	4,6
	€/m²	V. Natural	2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC	1,22	0,59	1,8
		V. Mec c/ RC	0,91	1,19	2,1
GD=2200	kgep/m²	V. Natural	3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC	2,3	1,5	3,8
		V. Mec c/ RC	1,7	3,0	4,7
	€/m²	V. Natural	2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,34	0,59	1,9
		V. Mec c/ RC	1,01	1,19	2,2
GD=2400	kgep/m²	V. Natural	4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC	2,5	1,5	4,0
		V. Mec c/ RC	1,9	3,0	4,9
	€/m²	V. Natural	2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC	1,46	0,59	2,1
		V. Mec c/ RC	1,10	1,19	2,3
GD=2600	kgep/m²	V. Natural	4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC	2,7	1,5	4,2
		V. Mec c/ RC	2,1	3,0	5,1
	€/m²	V. Natural	2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC	1,59	0,59	2,2
		V. Mec c/ RC	1,19	1,19	2,4
GD=2800	kgep/m²	V. Natural	4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC	2,9	1,5	4,5
		V. Mec c/ RC	2,2	3,0	5,2
	€/m²	V. Natural	2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC	1,71	0,59	2,3
		V. Mec c/ RC	1,28	1,19	2,5
GD=3000	kgep/m²	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	1,5	4,7
		V. Mec c/ RC	2,4	3,0	5,4
	€/m²	V. Natural	3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC	1,83	0,59	2,4
		V. Mec c/ RC	1,37	1,19	2,6

Tabela 21 - Análise energética
Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.4 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade SFP	0,1 0,4	rph W/(m3/h)	
		Calor	Electricidade	Total	
GD=1000	kgep/m2	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	1,5	2,6
		V. Mec c/ RC	0,4	3,0	3,4
	€/m2	V. Natural	1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC	0,61	0,59	1,2
		V. Mec c/ RC	0,25	1,19	1,4
GD=1200	kgep/m2	V. Natural	2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC	1,3	1,5	2,8
		V. Mec c/ RC	0,5	3,0	3,5
	€/m2	V. Natural	1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC	0,73	0,59	1,3
		V. Mec c/ RC	0,30	1,19	1,5
GD=1400	kgep/m2	V. Natural	2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC	1,5	1,5	3,0
		V. Mec c/ RC	0,6	3,0	3,6
	€/m2	V. Natural	1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC	0,85	0,59	1,4
		V. Mec c/ RC	0,36	1,19	1,5
GD=1600	kgep/m2	V. Natural	2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC	1,7	1,5	3,2
		V. Mec c/ RC	0,7	3,0	3,7
	€/m2	V. Natural	1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,98	0,59	1,6
		V. Mec c/ RC	0,41	1,19	1,6
GD=1800	kgep/m2	V. Natural	3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC	1,9	1,5	3,4
		V. Mec c/ RC	0,8	3,0	3,8
	€/m2	V. Natural	1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC	1,10	0,59	1,7
		V. Mec c/ RC	0,46	1,19	1,6
GD=2000	kgep/m2	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	1,5	3,6
		V. Mec c/ RC	0,9	3,0	3,9
	€/m2	V. Natural	2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC	1,22	0,59	1,8
		V. Mec c/ RC	0,51	1,19	1,7
GD=2200	kgep/m2	V. Natural	3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC	2,3	1,5	3,8
		V. Mec c/ RC	1,0	3,0	4,0
	€/m2	V. Natural	2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,34	0,59	1,9
		V. Mec c/ RC	0,56	1,19	1,7
GD=2400	kgep/m2	V. Natural	4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC	2,5	1,5	4,0
		V. Mec c/ RC	1,1	3,0	4,1
	€/m2	V. Natural	2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC	1,46	0,59	2,1
		V. Mec c/ RC	0,61	1,19	1,8
GD=2600	kgep/m2	V. Natural	4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC	2,7	1,5	4,2
		V. Mec c/ RC	1,1	3,0	4,1
	€/m2	V. Natural	2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC	1,59	0,59	2,2
		V. Mec c/ RC	0,66	1,19	1,8
GD=2800	kgep/m2	V. Natural	4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC	2,9	1,5	4,5
		V. Mec c/ RC	1,2	3,0	4,2
	€/m2	V. Natural	2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC	1,71	0,59	2,3
		V. Mec c/ RC	0,71	1,19	1,9
GD=3000	kgep/m2	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	1,5	4,7
		V. Mec c/ RC	1,3	3,0	4,3
	€/m2	V. Natural	3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC	1,83	0,59	2,4
		V. Mec c/ RC	0,76	1,19	1,9

Tabela 22 - Análise energética
Permeabilidade=0.6 rph e SFP=1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

Permeabilidade SFP		0,6 1	rph W/(m3/h)
Calor	Electricidade	Total	
1,8	0,0		1,8
1,1	3,8		4,8
1,3	7,5		8,8
1,02	0,00		1,0
0,61	1,48		2,1
0,76	2,96		3,7
2,1	0,0		2,1
1,3	3,8		5,0
1,6	7,5		9,1
1,22	0,00		1,2
0,73	1,48		2,2
0,91	2,96		3,9
2,5	0,0		2,5
1,5	3,8		5,2
1,8	7,5		9,4
1,42	0,00		1,4
0,85	1,48		2,3
1,07	2,96		4,0
2,8	0,0		2,8
1,7	3,8		5,4
2,1	7,5		9,6
1,63	0,00		1,6
0,98	1,48		2,5
1,22	2,96		4,2
3,2	0,0		3,2
1,9	3,8		5,7
2,4	7,5		9,9
1,83	0,00		1,8
1,10	1,48		2,6
1,37	2,96		4,3
3,5	0,0		3,5
2,1	3,8		5,9
2,6	7,5		10,1
2,03	0,00		2,0
1,22	1,48		2,7
1,52	2,96		4,5
3,9	0,0		3,9
2,3	3,8		6,1
2,9	7,5		10,4
2,24	0,00		2,2
1,34	1,48		2,8
1,68	2,96		4,6
4,2	0,0		4,2
2,5	3,8		6,3
3,2	7,5		10,7
2,44	0,00		2,4
1,46	1,48		2,9
1,83	2,96		4,8
4,6	0,0		4,6
2,7	3,8		6,5
3,4	7,5		10,9
2,64	0,00		2,6
1,59	1,48		3,1
1,98	2,96		4,9
4,9	0,0		4,9
2,9	3,8		6,7
3,7	7,5		11,2
2,85	0,00		2,8
1,71	1,48		3,2
2,13	2,96		5,1
5,3	0,0		5,3
3,2	3,8		6,9
3,9	7,5		11,5
3,05	0,00		3,0
1,83	1,48		3,3
2,29	2,96		5,2

Tabela 23 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade SFP	0,3 rph 1 W/(m³/h)			
				Calor	Electricidade	Total
GD=1000	kgep/m²	V. Natural		1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC		1,1	3,8	4,8
		V. Mec c/ RC		0,8	7,5	8,3
	€/m²	V. Natural		1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC		0,61	1,48	2,1
		V. Mec c/ RC		0,46	2,96	3,4
GD=1200	kgep/m²	V. Natural		2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC		1,3	3,8	5,0
		V. Mec c/ RC		0,9	7,5	8,5
	€/m²	V. Natural		1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC		0,73	1,48	2,2
		V. Mec c/ RC		0,55	2,96	3,5
GD=1400	kgep/m²	V. Natural		2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC		1,5	3,8	5,2
		V. Mec c/ RC		1,1	7,5	8,6
	€/m²	V. Natural		1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC		0,85	1,48	2,3
		V. Mec c/ RC		0,64	2,96	3,6
GD=1600	kgep/m²	V. Natural		2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC		1,7	3,8	5,4
		V. Mec c/ RC		1,3	7,5	8,8
	€/m²	V. Natural		1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC		0,98	1,48	2,5
		V. Mec c/ RC		0,73	2,96	3,7
GD=1800	kgep/m²	V. Natural		3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC		1,9	3,8	5,7
		V. Mec c/ RC		1,4	7,5	8,9
	€/m²	V. Natural		1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC		1,10	1,48	2,6
		V. Mec c/ RC		0,82	2,96	3,8
GD=2000	kgep/m²	V. Natural		3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC		2,1	3,8	5,9
		V. Mec c/ RC		1,6	7,5	9,1
	€/m²	V. Natural		2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC		1,22	1,48	2,7
		V. Mec c/ RC		0,91	2,96	3,9
GD=2200	kgep/m²	V. Natural		3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC		2,3	3,8	6,1
		V. Mec c/ RC		1,7	7,5	9,3
	€/m²	V. Natural		2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC		1,34	1,48	2,8
		V. Mec c/ RC		1,01	2,96	4,0
GD=2400	kgep/m²	V. Natural		4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC		2,5	3,8	6,3
		V. Mec c/ RC		1,9	7,5	9,4
	€/m²	V. Natural		2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC		1,46	1,48	2,9
		V. Mec c/ RC		1,10	2,96	4,1
GD=2600	kgep/m²	V. Natural		4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC		2,7	3,8	6,5
		V. Mec c/ RC		2,1	7,5	9,6
	€/m²	V. Natural		2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC		1,59	1,48	3,1
		V. Mec c/ RC		1,19	2,96	4,2
GD=2800	kgep/m²	V. Natural		4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC		2,9	3,8	6,7
		V. Mec c/ RC		2,2	7,5	9,7
	€/m²	V. Natural		2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC		1,71	1,48	3,2
		V. Mec c/ RC		1,28	2,96	4,2
GD=3000	kgep/m²	V. Natural		5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC		3,2	3,8	6,9
		V. Mec c/ RC		2,4	7,5	9,9
	€/m²	V. Natural		3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC		1,83	1,48	3,3
		V. Mec c/ RC		1,37	2,96	4,3

Tabela 24 - Análise energética
Permeabilidade=0.1 rph e SFP=1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade SFP	0,1 rph 1 W/(m³/h)			
				Calor	Electricidade	Total
		V. Natural		1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC		1,1	3,8	4,8
		V. Mec c/ RC		0,4	7,5	8,0
		V. Natural		1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC		0,61	1,48	2,1
		V. Mec c/ RC		0,25	2,96	3,2
		V. Natural		2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC		1,3	3,8	5,0
		V. Mec c/ RC		0,5	7,5	8,0
		V. Natural		1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC		0,73	1,48	2,2
		V. Mec c/ RC		0,30	2,96	3,3
		V. Natural		2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC		1,5	3,8	5,2
		V. Mec c/ RC		0,6	7,5	8,1
		V. Natural		1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC		0,85	1,48	2,3
		V. Mec c/ RC		0,36	2,96	3,3
		V. Natural		2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC		1,7	3,8	5,4
		V. Mec c/ RC		0,7	7,5	8,2
		V. Natural		1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC		0,98	1,48	2,5
		V. Mec c/ RC		0,41	2,96	3,4
		V. Natural		3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC		1,9	3,8	5,7
		V. Mec c/ RC		0,8	7,5	8,3
		V. Natural		1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC		1,10	1,48	2,6
		V. Mec c/ RC		0,46	2,96	3,4
		V. Natural		3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC		2,1	3,8	5,9
		V. Mec c/ RC		0,9	7,5	8,4
		V. Natural		2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC		1,22	1,48	2,7
		V. Mec c/ RC		0,51	2,96	3,5
		V. Natural		3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC		2,3	3,8	6,1
		V. Mec c/ RC		1,0	7,5	8,5
		V. Natural		2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC		1,34	1,48	2,8
		V. Mec c/ RC		0,56	2,96	3,5
		V. Natural		4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC		2,5	3,8	6,3
		V. Mec c/ RC		1,1	7,5	8,6
		V. Natural		2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC		1,46	1,48	2,9
		V. Mec c/ RC		0,61	2,96	3,6
		V. Natural		4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC		2,7	3,8	6,5
		V. Mec c/ RC		1,1	7,5	8,7
		V. Natural		2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC		1,59	1,48	3,1
		V. Mec c/ RC		0,66	2,96	3,6
		V. Natural		4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC		2,9	3,8	6,7
		V. Mec c/ RC		1,2	7,5	8,7
		V. Natural		2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC		1,71	1,48	3,2
		V. Mec c/ RC		0,71	2,96	3,7
		V. Natural		5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC		3,2	3,8	6,9
		V. Mec c/ RC		1,3	7,5	8,8
		V. Natural		3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC		1,83	1,48	3,3
		V. Mec c/ RC		0,76	2,96	3,7

Tabela 25 - Análise energética
Permeabilidade=0.6 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade SFP	0,6 rph W/(m3/h)		
		Calor	Electricidade	Total	
GD=1000	kgep/m2	V. Natural	1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC	1,1	0,4	1,4
		V. Mec c/ RC	1,3	0,8	2,1
	€/m2	V. Natural	1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC	0,61	0,15	0,8
		V. Mec c/ RC	0,76	0,30	1,1
GD=1200	kgep/m2	V. Natural	2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC	1,3	0,4	1,6
		V. Mec c/ RC	1,6	0,8	2,3
	€/m2	V. Natural	1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC	0,73	0,15	0,9
		V. Mec c/ RC	0,91	0,30	1,2
GD=1400	kgep/m2	V. Natural	2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC	1,5	0,4	1,8
		V. Mec c/ RC	1,8	0,8	2,6
	€/m2	V. Natural	1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC	0,85	0,15	1,0
		V. Mec c/ RC	1,07	0,30	1,4
GD=1600	kgep/m2	V. Natural	2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC	1,7	0,4	2,1
		V. Mec c/ RC	2,1	0,8	2,9
	€/m2	V. Natural	1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC	0,98	0,15	1,1
		V. Mec c/ RC	1,22	0,30	1,5
GD=1800	kgep/m2	V. Natural	3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC	1,9	0,4	2,3
		V. Mec c/ RC	2,4	0,8	3,1
	€/m2	V. Natural	1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC	1,10	0,15	1,2
		V. Mec c/ RC	1,37	0,30	1,7
GD=2000	kgep/m2	V. Natural	3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC	2,1	0,4	2,5
		V. Mec c/ RC	2,6	0,8	3,4
	€/m2	V. Natural	2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC	1,22	0,15	1,4
		V. Mec c/ RC	1,52	0,30	1,8
GD=2200	kgep/m2	V. Natural	3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC	2,3	0,4	2,7
		V. Mec c/ RC	2,9	0,8	3,6
	€/m2	V. Natural	2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC	1,34	0,15	1,5
		V. Mec c/ RC	1,68	0,30	2,0
GD=2400	kgep/m2	V. Natural	4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC	2,5	0,4	2,9
		V. Mec c/ RC	3,2	0,8	3,9
	€/m2	V. Natural	2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC	1,46	0,15	1,6
		V. Mec c/ RC	1,83	0,30	2,1
GD=2600	kgep/m2	V. Natural	4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC	2,7	0,4	3,1
		V. Mec c/ RC	3,4	0,8	4,2
	€/m2	V. Natural	2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC	1,59	0,15	1,7
		V. Mec c/ RC	1,98	0,30	2,3
GD=2800	kgep/m2	V. Natural	4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC	2,9	0,4	3,3
		V. Mec c/ RC	3,7	0,8	4,4
	€/m2	V. Natural	2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC	1,71	0,15	1,9
		V. Mec c/ RC	2,13	0,30	2,4
GD=3000	kgep/m2	V. Natural	5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC	3,2	0,4	3,5
		V. Mec c/ RC	3,9	0,8	4,7
	€/m2	V. Natural	3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC	1,83	0,15	2,0
		V. Mec c/ RC	2,29	0,30	2,6

Tabela 26 - Análise energética
Permeabilidade=0.3 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

Permeabilidade SFP		0,3 0,1	rph W/(m3/h)
Calor	Electricidade	Total	
1,8	0,0	1,8	
1,1	0,4	1,4	
0,8	0,8	1,5	
1,02	0,00	1,0	
0,61	0,15	0,8	
0,46	0,30	0,8	
2,1	0,0	2,1	
1,3	0,4	1,6	
0,9	0,8	1,7	
1,22	0,00	1,2	
0,73	0,15	0,9	
0,55	0,30	0,8	
2,5	0,0	2,5	
1,5	0,4	1,8	
1,1	0,8	1,9	
1,42	0,00	1,4	
0,85	0,15	1,0	
0,64	0,30	0,9	
2,8	0,0	2,8	
1,7	0,4	2,1	
1,3	0,8	2,0	
1,63	0,00	1,6	
0,98	0,15	1,1	
0,73	0,30	1,0	
3,2	0,0	3,2	
1,9	0,4	2,3	
1,4	0,8	2,2	
1,83	0,00	1,8	
1,10	0,15	1,2	
0,82	0,30	1,1	
3,5	0,0	3,5	
2,1	0,4	2,5	
1,6	0,8	2,3	
2,03	0,00	2,0	
1,22	0,15	1,4	
0,91	0,30	1,2	
3,9	0,0	3,9	
2,3	0,4	2,7	
1,7	0,8	2,5	
2,24	0,00	2,2	
1,34	0,15	1,5	
1,01	0,30	1,3	
4,2	0,0	4,2	
2,5	0,4	2,9	
1,9	0,8	2,6	
2,44	0,00	2,4	
1,46	0,15	1,6	
1,10	0,30	1,4	
4,6	0,0	4,6	
2,7	0,4	3,1	
2,1	0,8	2,8	
2,64	0,00	2,6	
1,59	0,15	1,7	
1,19	0,30	1,5	
4,9	0,0	4,9	
2,9	0,4	3,3	
2,2	0,8	3,0	
2,85	0,00	2,8	
1,71	0,15	1,9	
1,28	0,30	1,6	
5,3	0,0	5,3	
3,2	0,4	3,5	
2,4	0,8	3,1	
3,05	0,00	3,0	
1,83	0,15	2,0	
1,37	0,30	1,7	

Tabela 27 - Análise energética
Permeabilidade=0.1 rph e SFP=0.1 W/(m³/h)
(Contexto Português)

		Permeabilidade SFP	0,1 rph 0,1 W/(m³/h)			
				Calor	Electricidade	Total
GD=1000	kgep/m²	V. Natural		1,8	0,0	1,8
		V. Mec s/RC		1,1	0,4	1,4
		V. Mec c/ RC		0,4	0,8	1,2
	€/m²	V. Natural		1,02	0,00	1,0
		V. Mec s/RC		0,61	0,15	0,8
		V. Mec c/ RC		0,25	0,30	0,6
GD=1200	kgep/m²	V. Natural		2,1	0,0	2,1
		V. Mec s/RC		1,3	0,4	1,6
		V. Mec c/ RC		0,5	0,8	1,3
	€/m²	V. Natural		1,22	0,00	1,2
		V. Mec s/RC		0,73	0,15	0,9
		V. Mec c/ RC		0,30	0,30	0,6
GD=1400	kgep/m²	V. Natural		2,5	0,0	2,5
		V. Mec s/RC		1,5	0,4	1,8
		V. Mec c/ RC		0,6	0,8	1,4
	€/m²	V. Natural		1,42	0,00	1,4
		V. Mec s/RC		0,85	0,15	1,0
		V. Mec c/ RC		0,36	0,30	0,7
GD=1600	kgep/m²	V. Natural		2,8	0,0	2,8
		V. Mec s/RC		1,7	0,4	2,1
		V. Mec c/ RC		0,7	0,8	1,5
	€/m²	V. Natural		1,63	0,00	1,6
		V. Mec s/RC		0,98	0,15	1,1
		V. Mec c/ RC		0,41	0,30	0,7
GD=1800	kgep/m²	V. Natural		3,2	0,0	3,2
		V. Mec s/RC		1,9	0,4	2,3
		V. Mec c/ RC		0,8	0,8	1,5
	€/m²	V. Natural		1,83	0,00	1,8
		V. Mec s/RC		1,10	0,15	1,2
		V. Mec c/ RC		0,46	0,30	0,8
GD=2000	kgep/m²	V. Natural		3,5	0,0	3,5
		V. Mec s/RC		2,1	0,4	2,5
		V. Mec c/ RC		0,9	0,8	1,6
	€/m²	V. Natural		2,03	0,00	2,0
		V. Mec s/RC		1,22	0,15	1,4
		V. Mec c/ RC		0,51	0,30	0,8
GD=2200	kgep/m²	V. Natural		3,9	0,0	3,9
		V. Mec s/RC		2,3	0,4	2,7
		V. Mec c/ RC		1,0	0,8	1,7
	€/m²	V. Natural		2,24	0,00	2,2
		V. Mec s/RC		1,34	0,15	1,5
		V. Mec c/ RC		0,56	0,30	0,9
GD=2400	kgep/m²	V. Natural		4,2	0,0	4,2
		V. Mec s/RC		2,5	0,4	2,9
		V. Mec c/ RC		1,1	0,8	1,8
	€/m²	V. Natural		2,44	0,00	2,4
		V. Mec s/RC		1,46	0,15	1,6
		V. Mec c/ RC		0,61	0,30	0,9
GD=2600	kgep/m²	V. Natural		4,6	0,0	4,6
		V. Mec s/RC		2,7	0,4	3,1
		V. Mec c/ RC		1,1	0,8	1,9
	€/m²	V. Natural		2,64	0,00	2,6
		V. Mec s/RC		1,59	0,15	1,7
		V. Mec c/ RC		0,66	0,30	1,0
GD=2800	kgep/m²	V. Natural		4,9	0,0	4,9
		V. Mec s/RC		2,9	0,4	3,3
		V. Mec c/ RC		1,2	0,8	2,0
	€/m²	V. Natural		2,85	0,00	2,8
		V. Mec s/RC		1,71	0,15	1,9
		V. Mec c/ RC		0,71	0,30	1,0
GD=3000	kgep/m²	V. Natural		5,3	0,0	5,3
		V. Mec s/RC		3,2	0,4	3,5
		V. Mec c/ RC		1,3	0,8	2,1
	€/m²	V. Natural		3,05	0,00	3,0
		V. Mec s/RC		1,83	0,15	2,0
		V. Mec c/ RC		0,76	0,30	1,1

3.3.2. Análise de resultados

Nas tabelas seguintes apresenta-se o resumo da análise energética para a gama de GD existentes em Portugal. De realçar o facto de em alguns climas existirem combinações de Permeabilidade/SFP nos quais os sistemas mais eficientes na análise de energia primária e na análise económica são distintos. Assim serão apresentados os dois sistemas separadamente, com os respectivos valores.

Tabela 28 - Análise energética GD=1000
(Contexto Português)

GD=1000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		1,8 kgep/m²	1,8 kgep/m²	1,4 kgep/m²
		1 €/m²	1 €/m²	0,8 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		1,8 kgep/m²	1,8 kgep/m²	1,4 kgep/m²
		1 €/m²	1 €/m²	0,8 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		1,8 kgep/m²	1,8 kgep/m²	1,2 kgep/m²
		1 €/m²	1 €/m²	0,6 €/m²

Tabela 29 - Análise energética GD=1200
(Contexto Português)

GD=1200		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		2,1 kgep/m²	2,1 kgep/m²	1,6 kgep/m²
		1,2 €/m²	1,2 €/m²	0,9 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	M. s/RC M. c/RC
		2,1 kgep/m²	2,1 kgep/m²	1,6 kgep/m² 0,8
		1,2 €/m²	1,2 €/m²	0,9 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		2,1 kgep/m²	2,1 kgep/m²	1,3 kgep/m²
		1,2 €/m²	1,2 €/m²	0,6 €/m²

Tabela 30 - Análise energética GD=1400
(Contexto Português)

GD=1400		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		2,5 kgep/m²	2,5 kgep/m²	1,8 kgep/m²
		1,4 €/m²	1,4 €/m²	1 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	M. s/RC M. c/RC
		2,5 kgep/m²	2,5 kgep/m²	1,8 kgep/m² 0,9
		1,4 €/m²	1,4 €/m²	1 kgep/m² 0,9 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		2,5 kgep/m²	2,5 kgep/m²	1,4 kgep/m²
		1,4 €/m²	1,4 €/m²	0,7 €/m²

Tabela 31 - Análise energética GD=1600
(Contexto Português)

GD=1600		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Natural	V. Mec s/RC
		2,8 kgep/m²	2,8 kgep/m²	2,1 kgep/m²
		1,6 €/m²	1,6 €/m²	1,1 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		2,8 kgep/m²	2,8 kgep/m²	2 kgep/m²
		1,6 €/m²	1,6 €/m²	1 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Natural	V. Mec c/RC
		2,8 kgep/m²	2,8 kgep/m²	1,5 kgep/m²
		1,6 €/m²	1,6 €/m²	0,7 €/m²

Tabela 32 - Análise energética GD=1800
(Contexto Português)

GD=1800		SFP [W/(m³/h)]			
		1	0,4		0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Nat	M. s/RC	V. Mec s/RC
		3,2 kgep/m²	3,2 kgep/m²	1,7 kgep/m²	2,3 kgep/m²
		1,8 €/m²	1,8 €/m²	1,2 €/m²	1,2 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Nat	M. s/RC	V. Mec c/RC
		3,2 kgep/m²	3,2 kgep/m²	1,7 kgep/m²	2,2 kgep/m²
		1,8 €/m²	1,8 €/m²	1,1 €/m²	1,1 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Nat	M. c/RC	V. Mec c/RC
		3,2 kgep/m²	3,2 kgep/m²	1,6 kgep/m²	1,5 kgep/m²
		1,8 €/m²	1,8 €/m²	0,8 €/m²	0,8 €/m²

Tabela 33 - Análise energética GD=2000
(Contexto Português)

GD=2000		SFP [W/(m³/h)]			
		1	0,4		0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Nat	M. s/RC	V. Mec s/RC
		3,5 kgep/m²	3,5 kgep/m²	1,8 kgep/m²	2,5 kgep/m²
		2 €/m²	2 €/m²	1,4 €/m²	1,4 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Nat	M. s/RC	V. Mec c/RC
		3,5 kgep/m²	3,5 kgep/m²	1,8 kgep/m²	2,3 kgep/m²
		2 €/m²	2 €/m²	1,2 €/m²	1,2 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Nat	M. c/RC	V. Mec c/RC
		3,5 kgep/m²	3,5 kgep/m²	1,7 kgep/m²	1,6 kgep/m²
		2 €/m²	2 €/m²	0,8 €/m²	0,8 €/m²

Tabela 34 - Análise energética GD=2200
(Contexto Português)

GD=2200		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		3,9 kgep/m²	3,8 kgep/m²	2,7 kgep/m²
		2,2 €/m²	1,9 €/m²	1,5 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		3,9 kgep/m²	3,8 kgep/m²	2,5 kgep/m²
		2,2 €/m²	1,9 €/m²	1,3 €/m²
	0,1	V. Natural	M. s/RC	M. c/RC
		3,9 kgep/m²	3,8 kgep/m²	1,7 kgep/m²
		2,2 €/m²	1,7 €/m²	0,9 €/m²

Tabela 35 - Análise energética GD=2400
(Contexto Português)

GD=2400		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		4,2 kgep/m²	4 kgep/m²	1,9 kgep/m²
		2,4 €/m²	2,1 €/m²	1,6 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		4,2 kgep/m²	4 kgep/m²	2,6 kgep/m²
		2,4 €/m²	2,1 €/m²	1,4 €/m²
	0,1	V. Natural	M. s/RC	M. c/RC
		4,2 kgep/m²	4 kgep/m²	1,8 kgep/m²
		2,4 €/m²	1,8 €/m²	0,9 €/m²

Tabela 36 - Análise energética GD=2600
(Contexto Português)

GD=2600		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		4,6 kgep/m²	4,2 kgep/m²	3,1 kgep/m²
		2,6 €/m²	2,2 €/m²	1,7 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		4,6 kgep/m²	4,2 kgep/m²	2,8 kgep/m²
		2,6 €/m²	2,2 €/m²	1,5 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		4,6 kgep/m²	4,1 kgep/m²	1,9 kgep/m²
		2,6 €/m²	1,8 €/m²	1 €/m²

Tabela 37 - Análise energética GD=2800
(Contexto Português)

GD=2800		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		4,9 kgep/m²	4,5 kgep/m²	3,3 kgep/m²
		2,8 €/m²	2,3 €/m²	1,9 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		4,9 kgep/m²	4,5 kgep/m²	3 kgep/m²
		2,8 €/m²	2,3 €/m²	1,6 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		4,9 kgep/m²	4,2 kgep/m²	2 kgep/m²
		2,8 €/m²	1,9 €/m²	1 €/m²

Tabela 38 - Análise energética GD=3000
(Contexto Português)

GD=3000		SFP [W/(m³/h)]		
		1	0,4	0,1
Permeabilidade (rph)	0,6	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec s/RC
		5,3 kgep/m²	4,7 kgep/m²	3,5 kgep/m²
		3 €/m²	2,4 €/m²	2 €/m²
	0,3	V. Natural	V. Mec s/RC	V. Mec c/RC
		5,3 kgep/m²	4,7 kgep/m²	3,1 kgep/m²
		3 €/m²	2,4 €/m²	1,7 €/m²
	0,1	V. Natural	V. Mec c/RC	V. Mec c/RC
		5,3 kgep/m²	4,3 kgep/m²	2,1 kgep/m²
		3 €/m²	1,9 €/m²	1,1 €/m²

No Contexto Português as principais conclusões parecem ser as seguintes:

1. Para o cenário de ventilação ineficiente (SFP=1), e atendendo ao clima moderado e ao já concluído para o Contexto Europeu, em todo o território nacional o sistema de Ventilação Natural é o mais eficiente energeticamente;
2. Para uma eficiência intermédia (SFP=0.4), a Ventilação Natural continua a ser o sistema mais eficiente nas zonas costeiras e Região Sul do país (GD<2000), como se pode constatar na Figura 24;
3. Nas regiões da Beira Interior e Trás-os-Montes e Alto Douro, mais altas e de climas mais severos, os sistemas mecânicos começam a compensar, especialmente com ventilação eficiente e se a permeabilidade da envolvente for baixa, como já concluído no Contexto Europeu.

Seguindo o mesmo guia do Contexto Europeu apresenta-se uma representação das tendências dos sistemas mais vantajosos, do ponto de vista de energia primária, no continente Português, reforçando as conclusões apresentadas anteriormente. Serão igualmente apresentados os casos para uma eficiência da ventilação de $0.4 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$, variando a permeabilidade da envolvente em 0.3 e 0.1 rph.

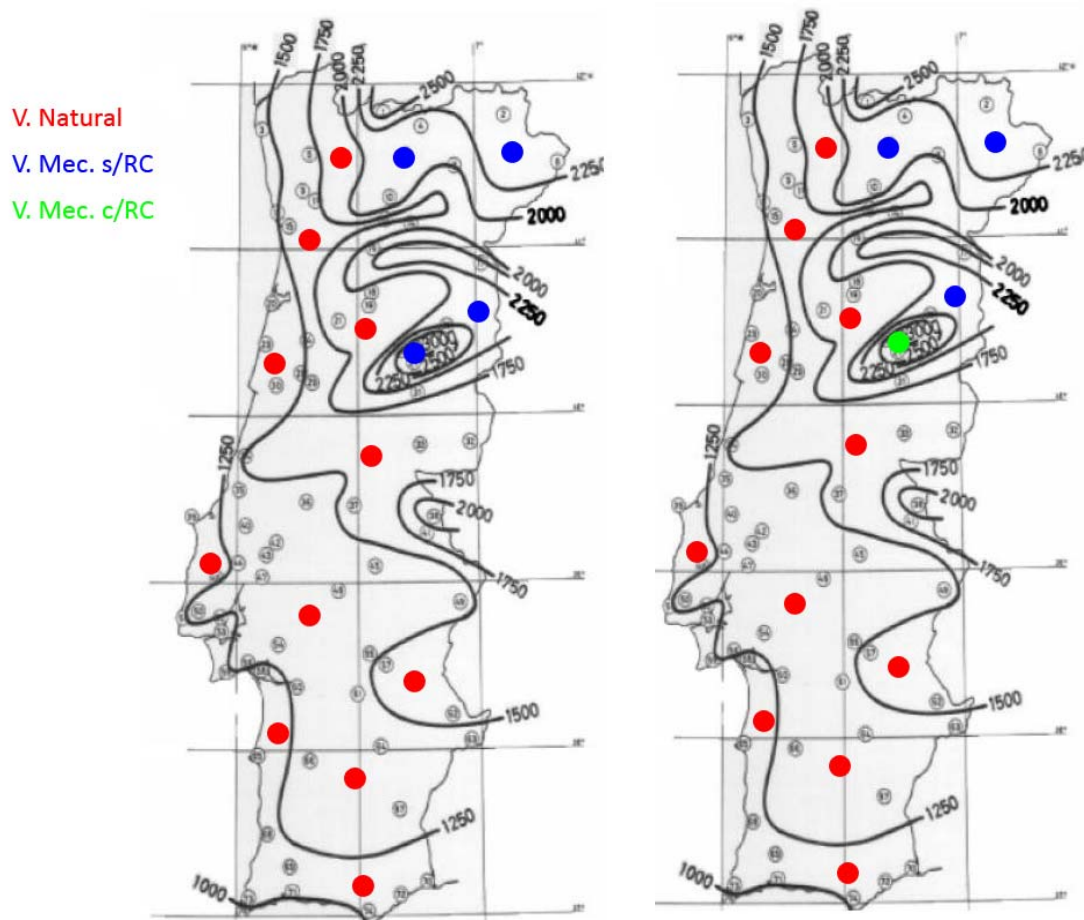


Figura 25 - Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Português (edifícios com permeabilidade=0.3 rph)

Figura 26 - Representação da tendência dos sistemas de ventilação mais vantajosos para o clima Português (edifícios com permeabilidade=0.1 rph)

4. Análise do mercado

Após a análise energética, torna-se necessário perceber a actual posição do mercado português em termos de soluções construtivas e tecnológicas em análise neste projecto. Assim irá ser analisada a gama de ventiladores disponíveis no mercado, bem como a situação das habitações em relação à permeabilidade.

Deste modo se ficará a saber se a análise realizada é representativa ou não para o caso de Portugal, e quais os custos associados.

4.1. Situação actual de SFP nos ventiladores disponíveis no mercado

De modo a perceber a oferta do mercado em relação a ventiladores, realizou-se uma pesquisa na documentação disponibilizada nas duas principais referências do mercado [8],[15]. Atendendo à gama de caudais utilizadas, para uma habitação média de 160 m^2 , foram escolhidos ventiladores com caudais a rondar os $300 \text{ m}^3/\text{h}$, estando disponíveis no Anexo C as respectivas referências.

Foram igualmente pesquisados ventiladores para duas gamas de ΔP , $<250 \text{ Pa}$ e $>250 \text{ Pa}$, de modo a abranger habitações com perdas de carga reduzidas, e habitações com sistemas de condutas complicados e respectivo aumento da perda de carga induzido.

O Histograma seguinte demonstra o resultado da pesquisa sendo possível constatar que o valor intermédio de 0.4 foi bem escolhido para a análise energética, tendo em conta que nos valores disponibilizados pelos fabricantes não se entra em conta com as perdas de carga em linha e localizadas já referidas anteriormente. Assim é provável que o valor real esteja entre o valor médio (0.4) e alto (1) considerado neste estudo.

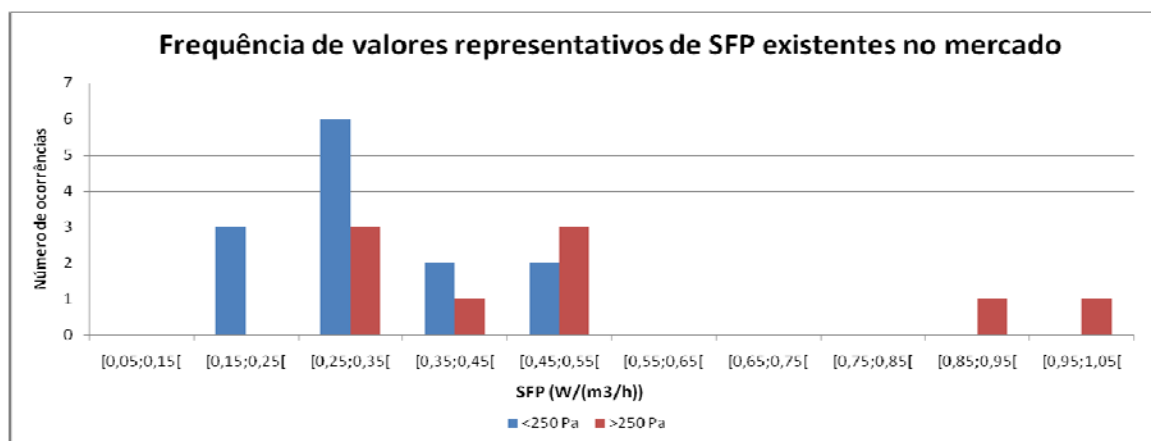


Figura 27 - Histograma dos valores de SFP dos ventiladores disponíveis no mercado

4.2. Situação actual da Permeabilidade nas construções do sector residencial

Variável crucial na ventilação mecânica com Recuperação de Calor, afecta directamente os gastos energéticos com o aquecimento.

4.2.1. Características

Como já analisado para o caso da Ventilação Natural, o vento e o efeito chaminé são os principais efeitos responsáveis pela deslocação de determinada massa de ar na envolvente do edifício e dentro do mesmo. No caso da Ventilação Mecânica com RC, e atendendo à igualdade de caudais de insuflação e extracção, as infiltrações estarão presentes, sendo por isso conveniente entender quais as variáveis que aumentam ou diminuem o caudal de infiltrações.

São várias as características intervenientes na permeabilidade, retratadas no esquema seguinte (Figura 28) a sua conjugação determina uma permeabilidade da envolvente alta ou baixa.

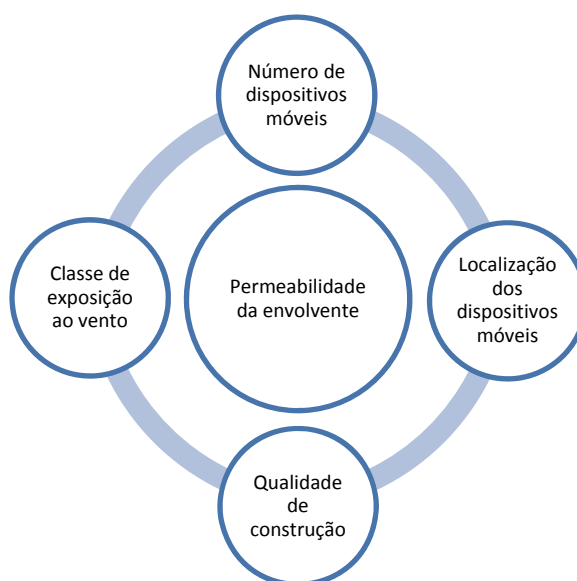


Figura 28 - Factores da Permeabilidade da envolvente

Ainda que o RCCTE não tenha uma pretensão absoluta de ser fisicamente realista, não deixa contudo de ser uma referência incontornável. No seu Quadro IV.2, Anexo IV, vemos as classes de exposição ao vento em função da altura ao solo, zonamento do território e rugosidade do terreno. Como será compreensível quanto maior a Classe de exposição mais complicado se torna conseguir uma boa permeabilidade.

Tabela 39 - Classes de exposição ao vento da fracção autónoma [7]

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas:

Região A – todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B;

Região B – Regiões Autónomas dos Açores e Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana.

Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural

Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Factor bastante importante é a conjugação do número de dispositivos móveis e a sua localização. Se estes forem em maior número nas fachadas orientadas para os ventos dominantes, o diferencial de pressão será maior levando a infiltrações superiores. Todos estes factores relacionam-se com a qualidade de construção dos vedantes e dos dispositivos móveis.

A própria qualidade de construção do edifício é relevante na medida em que por vezes acabamentos finais não mostram frinchas, em junções ou pontes de dilatação, com tamanhos consideráveis e responsáveis por grande parte das perdas energéticas resultantes das infiltrações.

4.2.2. Métodos de medição

4.2.2.1. Porta Ventiladora

Este método de medição consiste na utilização de um ventilador incorporado numa porta ajustável (Figura 29), substituindo a que delimitava o espaço, sendo que através da pressurização/despressurização do espaço em análise se consegue determinar o caudal de ar que atravessou a área de frinchas e má vedações existentes nos elementos móveis do espaço. [3]



Figura 29 - Exemplo de Porta Ventiladora [21]

O caudal de ar obtido é resultado da utilização das Equações de calibração do ventilador, Equação 11, em função do diferencial de pressões entre o interior e exterior do espaço.

$$\dot{V}_{50} = f(\Delta p) \quad (11)$$

Devido ao diferente comportamento dos vedantes, à compressão e descompressão, obtêm-se ao longo dos dois processos, a diferença de pressão entre o interior e exterior do espaço. Colocando então o diferencial de pressão entre o interior e o exterior em 50 Pa, obtêm-se assim o respectivo caudal de ar através das Equações de calibração do ventilador utilizado. Através da Equação 12 retira-se assim o caudal horário de infiltrações médio $\dot{V}$.

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_{50}}{N} \quad (12)$$

O valor de N varia entre 15 e 22 dependendo do tipo de clima e a exposição do edifício. Este factor transforma o caudal de infiltrações a 50 Pa no caudal teórico expectável sem nenhum tipo de pressurização. Dividindo o valor de $\dot{V}$ obtido pelo volume do edifício em análise obtêm-se a taxa de renovação nominal (rph).

4.2.2.2. Gases Traçadores

Este segundo método consiste na libertação no espaço em análise de uma determinada massa de gás, não existente na atmosfera de modo às concentrações serem controladas pelo utilizador. Um dos gases mais utilizados é o Hexafluoreto de Enxofre (SF_6).

Através de um medidor de concentrações gasosas, e após a libertação de uma quantidade pré-determinada no espaço em análise, regista-se a evolução da concentração do gás durante 1 a 2 horas. Devido às infiltrações, a concentração do gás irá diminuir nesse espaço de tempo sendo esse parâmetro registado. Representando graficamente a diminuição da concentração, $\ln(\text{concentração}) = f(\text{tempo})$, obtêm-se uma recta de declive negativo, sendo este o número de renovações por unidade de tempo (rph). [3]

4.2.3. Valores actuais de permeabilidade

Torna-se agora importante perceber o estado actual da permeabilidade nos edifícios habitacionais, e quantificar alguns valores usuais nas construções já existentes. Esta é uma área claramente deficitária em Portugal. Não obstante, apresenta-se de seguida o resultado da pesquisa bibliográfica efectuada, sendo os dados obtidos apresentados consoante o método de obtenção. Em primeiro lugar serão apresentados os dados obtidos através de um método apresentado pela ATTMA⁴ (Air Tightness Testing and Measurement Association), sendo seguido de alguns valores obtidos pelos métodos de previsão descritos anteriormente na secção 4.2.2.

Segundo a ATTMA, e tendo esta associação em conta a *Buildings Regulations Part L* do Governo Inglês [16], os valores usuais de boa prática de permeabilidade são os apresentados de seguida na Tabela 40.

Tabela 40 - Valores da permeabilidade da envolvente de um edifício segundo a ATTMA

Type	Air permeability	
	$m^3/(h.m^2)$ at 50 pascals	
	Best practice	Normal
Offices		
<i>Naturally ventilated</i>	3	7
<i>Mixed mode</i>	2.5	5
<i>Air conditioned/low energy</i>	2	5
Factories/warehouses	2	6
Superstores	1	5
Schools	3	9
Hospitals	5	9
Museums and archival stores	1	1.5
Cold Stores	0.2	0.35
Dwellings		
<i>naturally ventilated</i>	3	9
<i>mechanically ventilated</i>	3	5

De referir que os valores aqui apresentados são calculados por m^2 de envolvente, sendo estes definidos na Norma da ATTMA como a área de paredes, tecto e laje em contacto com o exterior. Considerando uma habitação de um piso intermédio, inserida num conjunto de apartamentos, com uma área de $160 m^2$, uma das disposições tidas como referência será a da Figura 30.

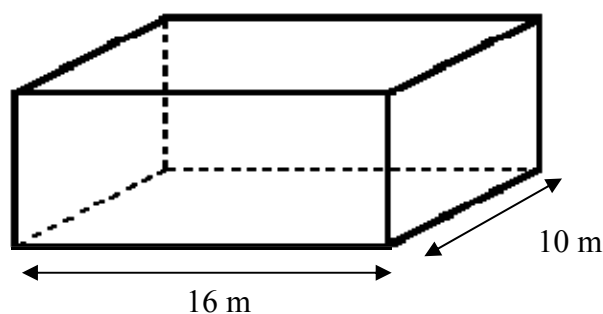


Figura 30 - Referência de tipologia de habitação

⁴ www.attma.org

Não considerando o tecto e o chão em contacto com a envolvente exterior, a área de envolvente para um pé-direito de 2.5 m seria de:

$$Área_{envolvente} = 2 * 16 * 2.5 + 2 * 10 * 2.5 = 130 \text{ m}^2$$

Para uma boa prática de permeabilidade e para os dois sistemas de ventilação, Natural e Ventilação Mecânica, o caudal de infiltrações seria:

$$Caudal_{infiltrações} = 3 * 130 = 390 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para um volume da habitação de 400 m^3 ($160 \text{ m}^2 * 2.5 \text{ m}$ de pé-direito)

$$rph = \frac{390}{400} = 1 \text{ h}^{-1}$$

Apresenta-se agora os dados obtidos na pesquisa de valores obtidos através dos métodos de medição atrás descritos. Para tal, e usando a base de artigos bibliográficos da Biblioteca⁵ da FEUP, foi encontrado um artigo interessante publicado na *ScienceDirect* sobre o tema em estudo, permeabilidade nas habitações, sendo os dados obtidos no mesmo expostos de seguida.

O caso de estudo recaiu em 20 habitações distintas em Atenas, sendo algumas das características das mesmas apresentadas na Tabela 41. Através do método da Porta Ventiladora, efectuando os testes a 50 Pa, e do método dos Gases Traçadores, utilizando o Óxido Nitroso (N_2O), foram obtidos os valores da Tabela 42 [19]. Os valores a ter em conta serão os ACH_{av} , a taxa de renovação da totalidade do edifício, resultando este valor da média aritmética das taxas de renovação de todos os compartimentos.

⁵ <http://paginas.fe.up.pt/~sding/>

Tabela 41 - Dados do artigo sobre permeabilidade disponível na WEB [19]

House	Volume (m ³)	Height of the building (m)	Number of exposed facades	Number of levels
1	565	6.0	3	3
2	445	9.0	4	4
3	444	9.0	4	4
4	120	3.5	4	1
5	168	4.5	4	1
6	573	6.0	4	2
7	149	3.5	4	1
8	97	3.0	3	1
9	147	6.0	4	1
10	261	6.0	4	1
11	247	6.0	4	1
12	691	6.0	3	3
13	390	6.0	3	3
14	191	6.0	2	1
15	500	7.5	4	4
16	458	4.0	4	2
17	828	7.5	4	4
18	205	6.0	3	1
19	116	3.0	3	1
20	141	4.5	4	1

Tabela 42 - Valores de permeabilidade disponíveis no artigo da WEB [19]

House	ACH _{av}	ACH ₅₀	Wind speed (m/s)
1	0.71	1.87	1.95
2	1.21	5.72	4.15
3	0.97	5.40	2.05
4	1.14	8.52	2.58
5	1.56	11.30	3.46
6	1.14	2.22	1.58
7	0.35	7.51	3.79
8	0.33	8.50	4.02
9	0.83	11.12	3.22
10	0.99	9.58	1.24
11	0.86	8.86	1.95
12	0.62	1.98	0.81
13	0.59	2.44	1.77
14	0.71	2.69	1.21
15	1.38	10.49	1.50
16	1.46	8.29	4.18
17	0.49	6.39	2.10
18	0.32	7.68	1.12
19	0.90	5.94	3.96
20	0.40	9.30	3.92

Outro dado interessante e igualmente disponível no artigo, foi a definição de níveis de permeabilidade para casos de ventilação natural realizada neste artigo, através dos níveis de renovação de ar medidos (Tabela 43). De facto esta mesma hierarquização de permeabilidade é um dos parâmetros chave deste estudo, sendo de constatar que se enquadram minimamente dentro do proposto neste projecto.

Os resultados obtidos na primeira secção de análise, relativo ao método apresentado pela ATTMA, revelam níveis de permeabilidade muito elevados, mesmo acima da gama considerada neste estudo, pese embora o facto de ser um método bastante genérico sem qualquer tipo de consideração explícita dos factores apresentados na secção 4.2.1, o número e localização dos dispositivos móveis, exposição ao vento, etc.

No caso do artigo utilizado, e tendo em conta os resultados apresentados na Tabela 42, podemos considerar que as taxas de renovação medidas se inserem maioritariamente na gama de permeabilidade considerada neste projecto, sendo de realçar não existir nenhum valor abaixo das 0.3 rph.

Tabela 43 - Definição de níveis de permeabilidade no artigo disponível na WEB [19]

Air change rate (h^{-1}) at 50 Pa	Ventilation rate (h^{-1}) for naturally ventilated single family houses	Envelope tightness level
10	1.5	Low
4–10	0.8	Medium
4	0.5	High

4.3. Análise económica simples

Nesta secção irá ser realizada uma análise económica simples, tentando obter alguns tempos de *pay-back* do uso de sistemas de ventilação mais eficientes, face aos mais comuns e consumidores. Assim, e tão importante como a poupança da aplicação de um sistema de ventilação mais eficiente, é o período de retorno do investimento inicial.

Para proceder ao estudo do *pay-back* simples, efectuou-se uma pesquisa nos catálogos disponíveis na WEB, sendo revelado a pouca informação disponível. Informação disponibilizada pela AFA Consult⁶ permitiu um maior número de dados, sendo utilizada a média de custo entre os diferentes produtos como referência [17],[18]. Na Tabela 44 vemos os valores em questão.

Nesta análise de *pay-back* foram considerados os custos de instalação dos equipamentos, mão-de-obra, acessórios, etc. Atendendo à falta de informação nesta área, considerou-se um custo equivalente a 30% do valor do investimento nos equipamentos.

No caso de Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor, e atendendo aos recuperadores de calor pesquisados, considera-se a utilização de recuperadores com ventiladores incorporados, regra geral no mercado.

Foi dada prioridade à conjugação Permeabilidade/SFP intermédia, ou seja, 0.3 rph e 0.4 W/(m³/h), situação central dos casos de estudo, sendo também analisada a hipótese de maior eficiência, Permeabilidade = 0.1 rph e SFP = 0.1 W/(m³/h). Todos os cálculos foram efectuados para uma habitação de área média (160 m²).

Tabela 44 - Custo de ventiladores e recuperadores de calor disponíveis no mercado [17],[18]

Ventiladores		
France Air	Rectilys 300	316 €
	Modulys EXT 400 A	737 €
	MV5	515 €
	Média	523 €
Recuperadores de Calor		
France Air	Volcane II-400	2.278 €
Vortice	Vort Energy 52P	1.756 €
	Média	2.017 €

⁶ Informação cedida por Bruno Santos.

Atendendo ao pressuposto de utilizar, no caso de Ventilação Mecânica com RC, recuperadores com ventiladores incluídos, o processo de cálculo do investimento realizado será o seguinte:

✓ Ventilação Mecânica com RC vs Sistema de Ventilação Mecânica sem RC

Considera-se o investimento do recuperador de calor subtraindo o custo de 1 ventilador, tendo em conta que o equipamento já possui ventilador de insuflação e extracção. Não será o método mais correcto, mas atendendo ao facto de não possuímos custos de recuperadores de calor sem ventilação incorporada, esta torna-se a medida possível.

$$\text{Investimento} = 2017 - 523 = 1494 \text{ €}$$

✓ Sistema de Ventilação Mecânica com RC vs Ventilação Natural

$$\text{Investimento} = 2017 \text{ €}$$

✓ Sistema de Ventilação Mecânica sem RC vs Ventilação Natural

$$\text{Investimento} = 523 \text{ €}$$

Na Tabela 45 vemos o resumo da análise efectuada aos climas chave, de modo a perceber a aplicabilidade dos sistemas aqui analisados.

Tabela 45 - Períodos de Pay-Back simples de alguns sistemas de ventilação

	Permeabilidade (rph)	SFP [W/(m ³ /h)]	Sistema mais económico	Poupança [€/ano] (em relação a)	Investimento [€]	Pay-Back [anos]
GD=1000	0,1	0,1	V.Mec. c/RC	32 V.Mec. s/RC	1942	61
				64 V.Natural	2622	41
GD=2000	0,1	0,1	V.Mec. c/RC	96 V.Mec. s/RC	1942	20
				192 V.Natural	2622	14
	0,3	0,4	V.Mec. s/RC	32 V.Natural	680	21
GD=3000	0,1	0,1	V.Mec. c/RC	144 V.Mec. s/RC	1942	13
				304 V.Natural	2622	9
	0,3	0,4	V.Mec. s/RC	96 V.Natural	680	7
GD=4000	0,1	0,1	V.Mec. c/RC	208 V.Mec. s/RC	1942	9
				464 V.Natural	2622	6
	0,3	0,4	V.Mec. s/RC	160 V.Natural	680	4
GD=6000	0,1	0,1	V.Mec. c/RC	352 V.Mec. s/RC	1942	6
				736 V.Natural	2622	4
	0,3	0,4	V.Mec. c/RC	32 V.Mec. s/RC	1942	61
				336 V.Natural	2622	8

De referir o facto de alguns sistemas terem períodos de *pay-back* bastante elevados, não compatíveis com o tempo de vida útil dos equipamentos. Assim estes investimentos apenas devem ser considerados na óptica de poupança ambiental e nunca na vertente económica.

Os resultados evidenciados na tabela anterior demonstram claramente que a aplicação de sistemas de ventilação mais eficientes apenas se torna compensadora em termos de retorno de capital, para climas com $GD > 3000$, com períodos de retorno de 4 a 10 anos.

Outro ponto a salientar é o facto de o sistema de Ventilação Mecânica com RC ter períodos de retorno bastante elevados face ao sistema sem RC, na conjugação intermédia de Permeabilidade/SFP, conjugação mais provável de existir na maioria das habitações face às pesquisas realizadas em termos da situação actual do mercado face a estes dois parâmetros. Apenas para sistemas de ventilação muito eficientes e permeabilidades muito baixas, o sistema de Ventilação Mecânica com RC compensa o investimento inicial, como se depara dos resultados para $GD=6000$.

Assim e focalizando no contexto Português, o sistema de Ventilação Mecânica com RC não aparenta ter viabilidade de aplicação.

Quanto à Ventilação Mecânica sem RC, poderá tornar-se uma hipótese razoavelmente viável para climas acima dos 2500 GD de aquecimento, situação que em Portugal ocorre em poucos locais.

5. Conclusões e trabalho futuro

Conclusões

Este projecto analisou a conjugação de três parâmetros com influência fundamental na escolha do tipo de ventilação:

- Os Graus-Dias de aquecimento do local onde o edifício está implantado;
- A Permeabilidade da envolvente do edifício a infiltrações;
- A Eficiência Energética directa do sistema de ventilação.

Os resultados permitem concluir que:

- Em condições médias de permeabilidade da envolvente (0.3 rph) e de eficiência da ventilação, a Ventilação Natural é o sistema mais eficiente para climas temperados (até $GD = 1800$), sendo que para climas intermédios (GD de 1800 a 4000) aparece a Ventilação Mecânica sem Recuperação de Calor como a solução mais eficiente, e apenas em climas muito frios ($GD > 4000$) a Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor;

- Nos casos em que a Ventilação Mecânica é muito ineficiente ($SFP = 1 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$), esta conduz, à excepção da zona Norte da Península Escandinava, a consumos de energia primária significativamente superiores à Ventilação Natural;

- No contexto Português, a Ventilação Mecânica apenas parece justificar-se se for muito eficiente ($SFP = 0.1 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$) ou, em condições médias ($SFP = 0.4 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$), para climas acima de 1800 GD de aquecimento;

- Quanto à Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor, apenas se justifica caso se combine uma boa eficiência da Ventilação Mecânica com uma excelente estanquicidade da envolvente. Contudo, mesmo nos casos em que poupa energia primária, este sistema tem, no contexto Português, um período de retorno de investimento muito longo e que o torna pouco atractivo.

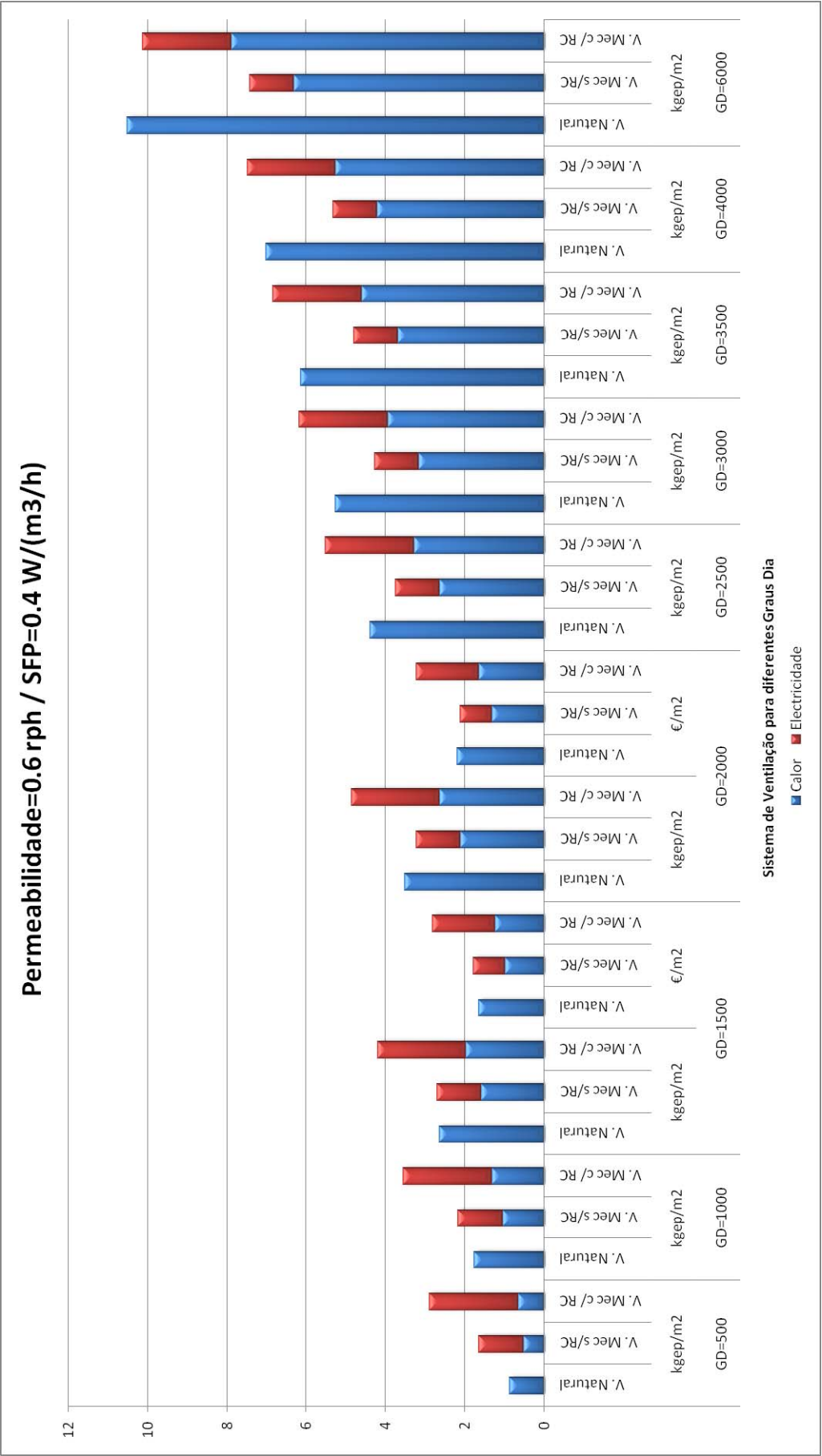
Possibilidade de trabalho futuro

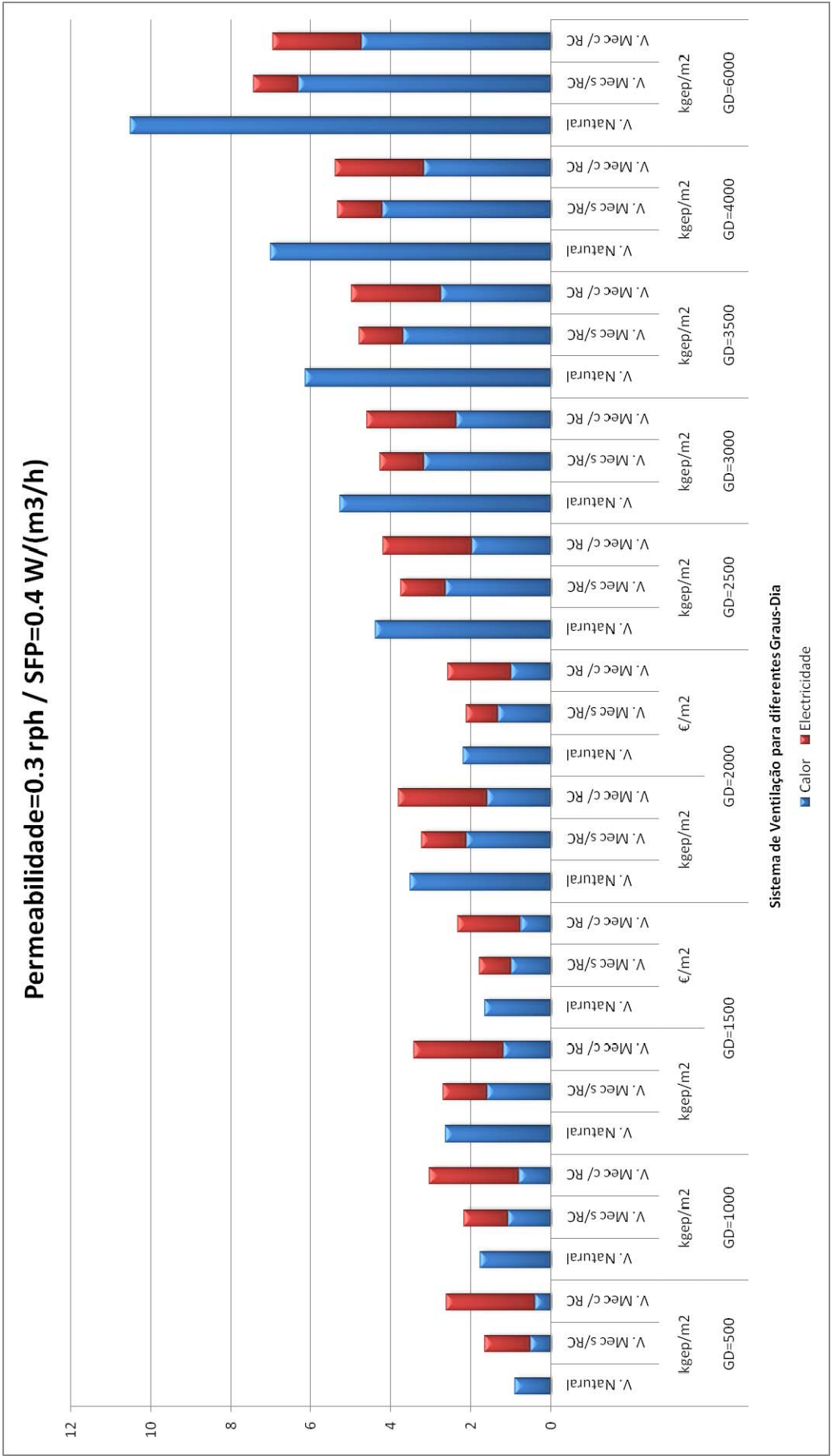
Como trabalho futuro, poderá ser interessante a análise energética de um sistema híbrido entre Ventilação Mecânica e Natural, tentando comparar os consumos e perceber a viabilidade de tal opção. Na estação de aquecimento, e através dos dados fornecidos por este projecto, considerava-se o sistema de ventilação mais eficiente para o clima em análise, tendo em conta o binómio permeabilidade/eficiência da ventilação, sendo que na estação de arrefecimento se optaria por um sistema de Ventilação Natural.

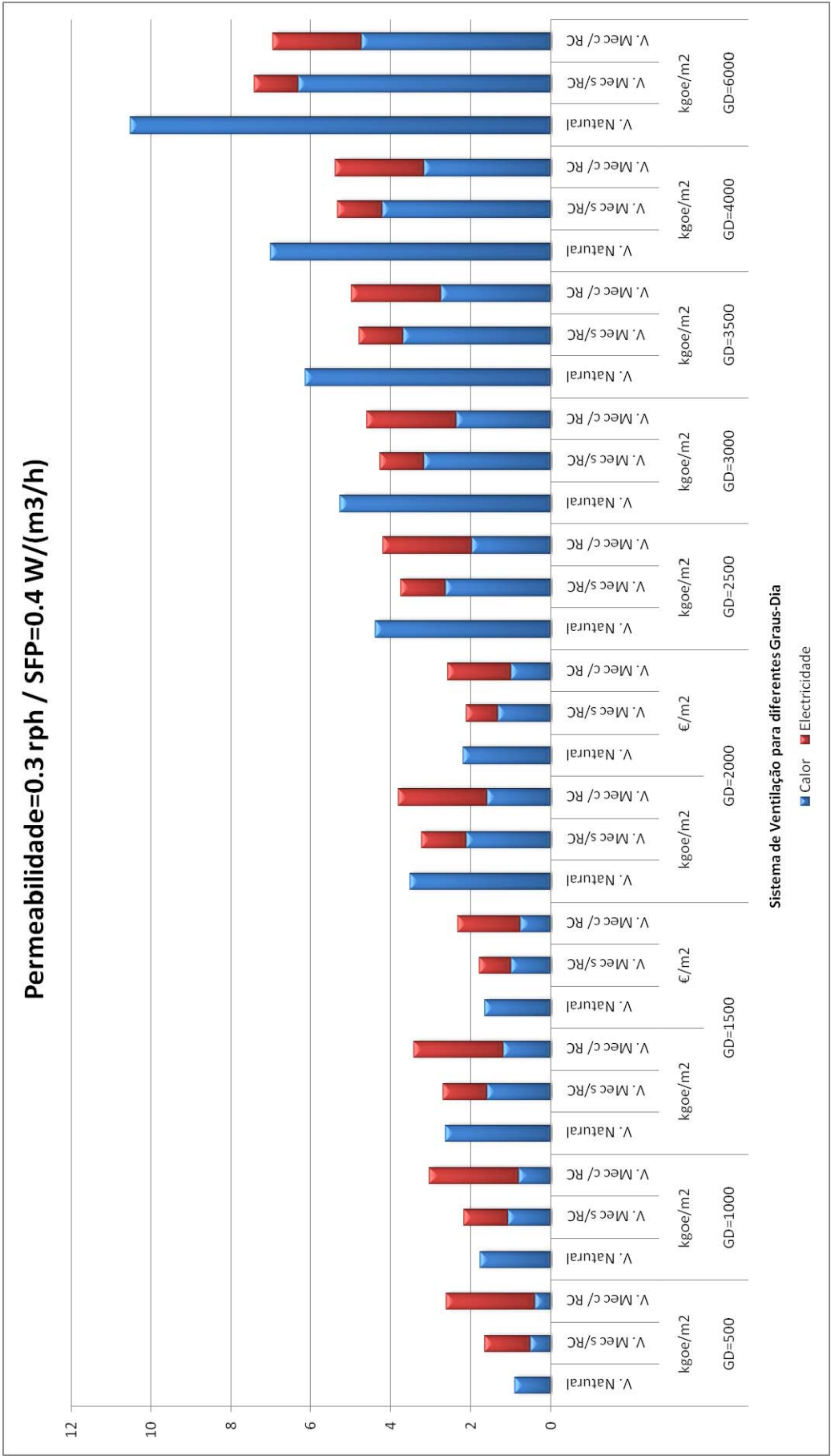
6. Referências

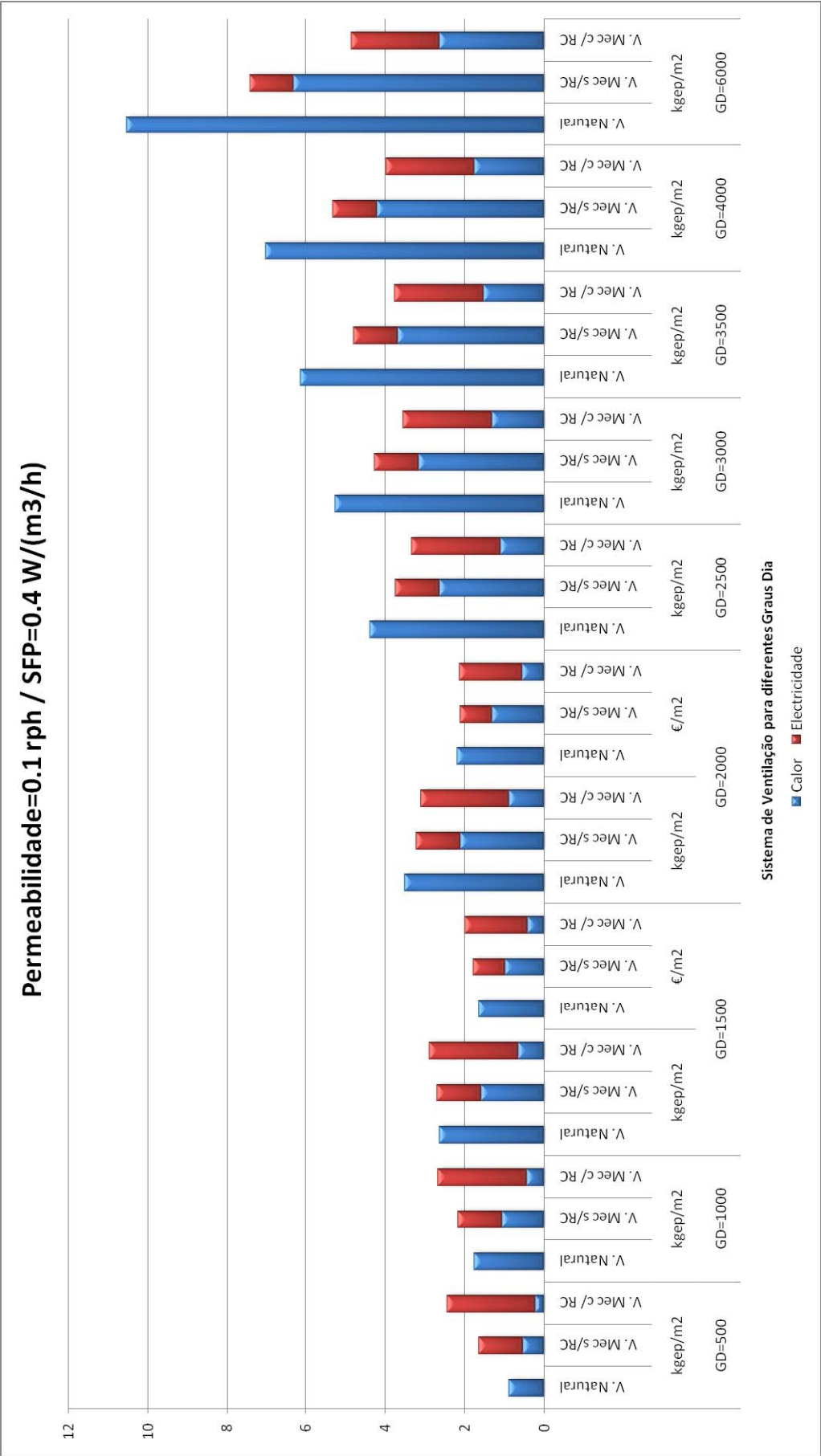
- [1] IEA, Statistics – Electricity – Electricity/Heat data in European Union – 27 in 2005, <http://www.iea.org> (consultado em 20/11/08);
- [2] MALDONADO, Eduardo. Apresentação 8^{as} Jornadas de Climatização, 15/10/08, Lisboa;
- [3] ALEXANDRE, José Luís; MALDONADO, Eduardo. Acetatos da disciplina de Climatização, 2007/2008;
- [4] ANSI/ASHRAE Standart 62.1-2004;
- [5] PORTUGAL, Norma Portuguesa 1037-1, 2002;
- [6] COLT PORTUGAL, <http://www.colt-portugal.pt/produtos-e-sistemas/arquitectura-e-assistencia-tecnica/ventilacao-natural/> (consultado em 04/12/08);
- [7] PORTUGAL, Lei nº80 de 2006, RCCTE, Diário da Republica;
- [8] SYSTEM AIR, Online catalogue, <http://194.17.239.19/> (consultado em 10/12/08);
- [9] EUROSTAT, Average living área in square meter per person, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (consultado em 25/09/08);
- [10] EUROPEAN UNION, Directive 2006/32/EC, 5 April 2006, Energy end-use efficiency and energy services, ANNEX II;
- [11] EDP, Tarifas BTN, http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Clients/Regulated_market/Tariffs/BTN_tariffs/BTN_tariffs_between_2.3_and_20.7.htm (consultado em 05/11/08);
- [12] GALP ENERGIA, Tarifário LisboaGás, Doméstico, <http://gasnatural.galpenergia.com/vPT/Cientes/tarifario/GasNatural/Domestico/Paginas/Lisboagas.aspx> (consultado em 05/11/08);
- [13] EUROSTAT, Statistical Book, Gas and Electricity market statistics, 2007 edition
- [14] ECOFYS, U Values for better Energy Performance of Buildings, p.16;
- [15] FRANCE AIR, Catálogo Online, Versão Inglesa, <http://www.france-air.com/en/Default.aspx?tabid=502&idcha=F> (consultado em 10/12/08);
- [16] ATTMA, Technical Standart 1, Measuring Air Permeability of buildings Envelopes, March 2006;
- [17] AFA Consult, Informação cedida pelo Eng. Bruno Santos;
- [18] VENTILNORTE, Tabelas de Preço de Ar Condicionado, (consultado em 16/01/09) http://www.ventilnorte.com/tabelas_de_precos/documentos/2008-06_Tabela_Ar_condicionado_fluxos_cruzados.pdf;
- [19] (Vários autores), Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece, January 2007, www.sciencedirect.com (consultado em 15/01/09);
- [20] AIRFLOW, <http://www.airflow.co.uk/products/product.asp?ProductID=160> (consultado em 19/01/09);
- [21] ENERGY CONSULTATION, <http://energyconsultation.com/services> (consultado em 26/01/09);
- [22] (Vários autores), Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus-Dias, Lisboa, 1989.

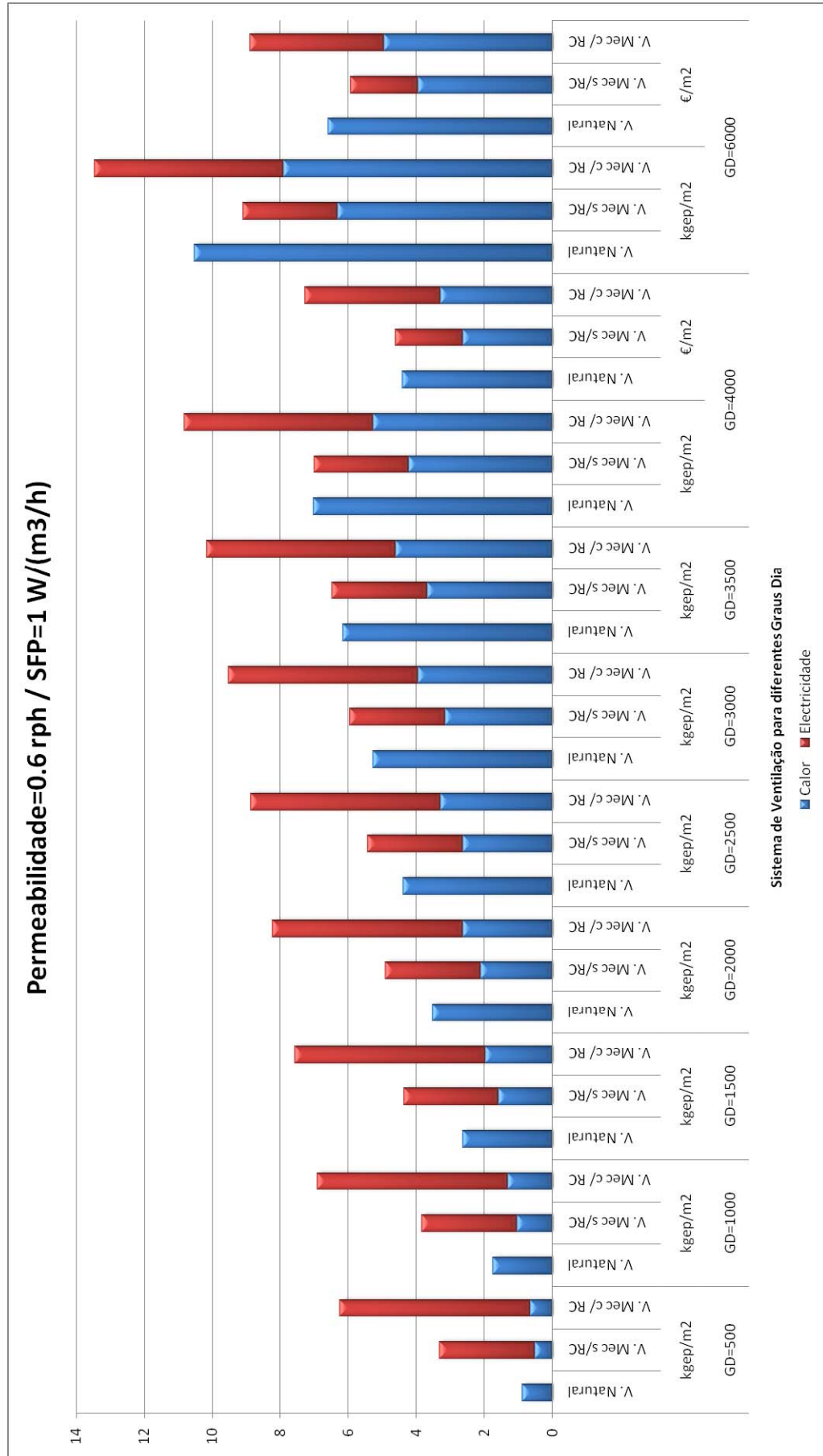
ANEXO A: Gráficos resumo da Análise Energética do Contexto Europeu

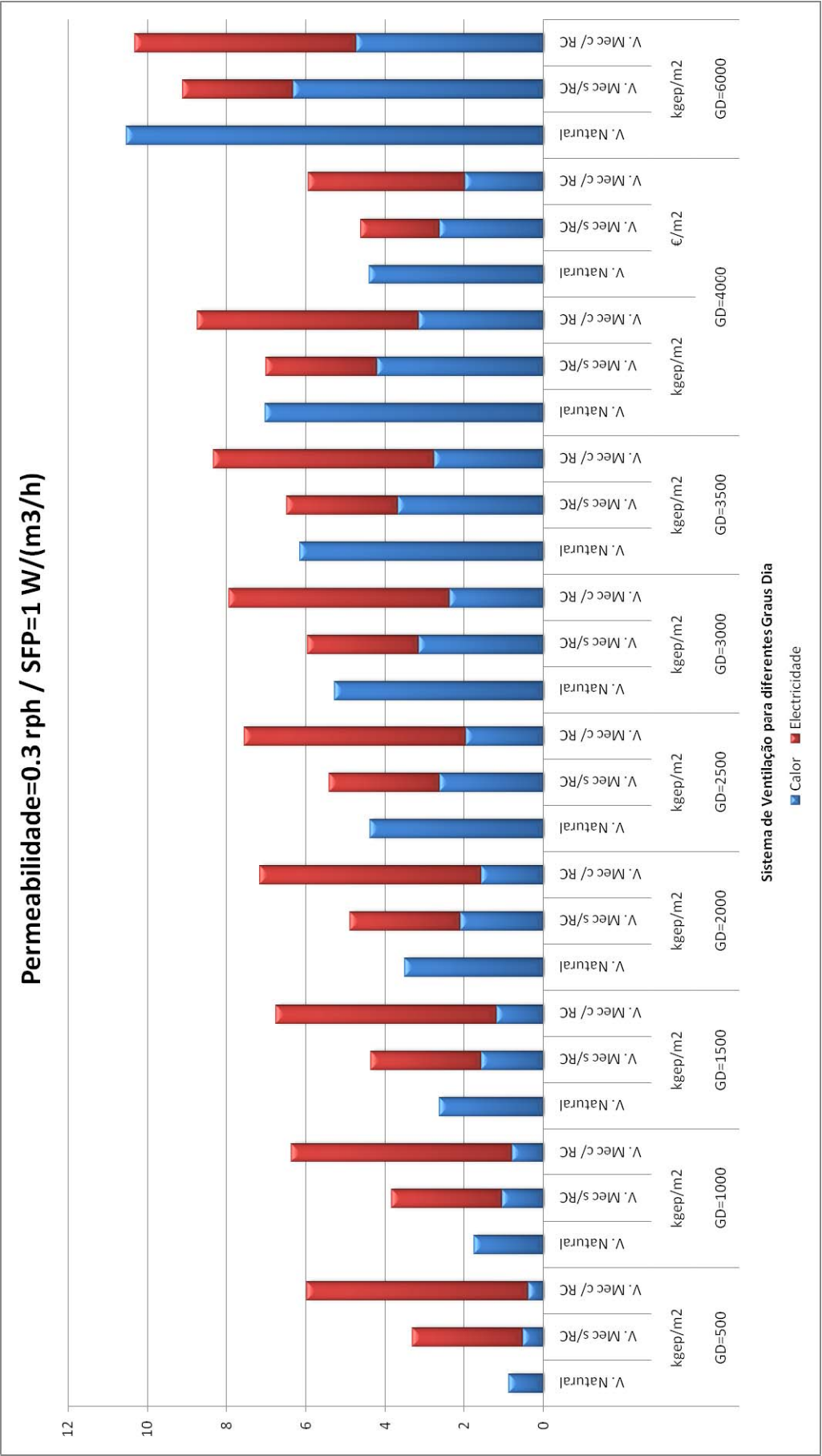


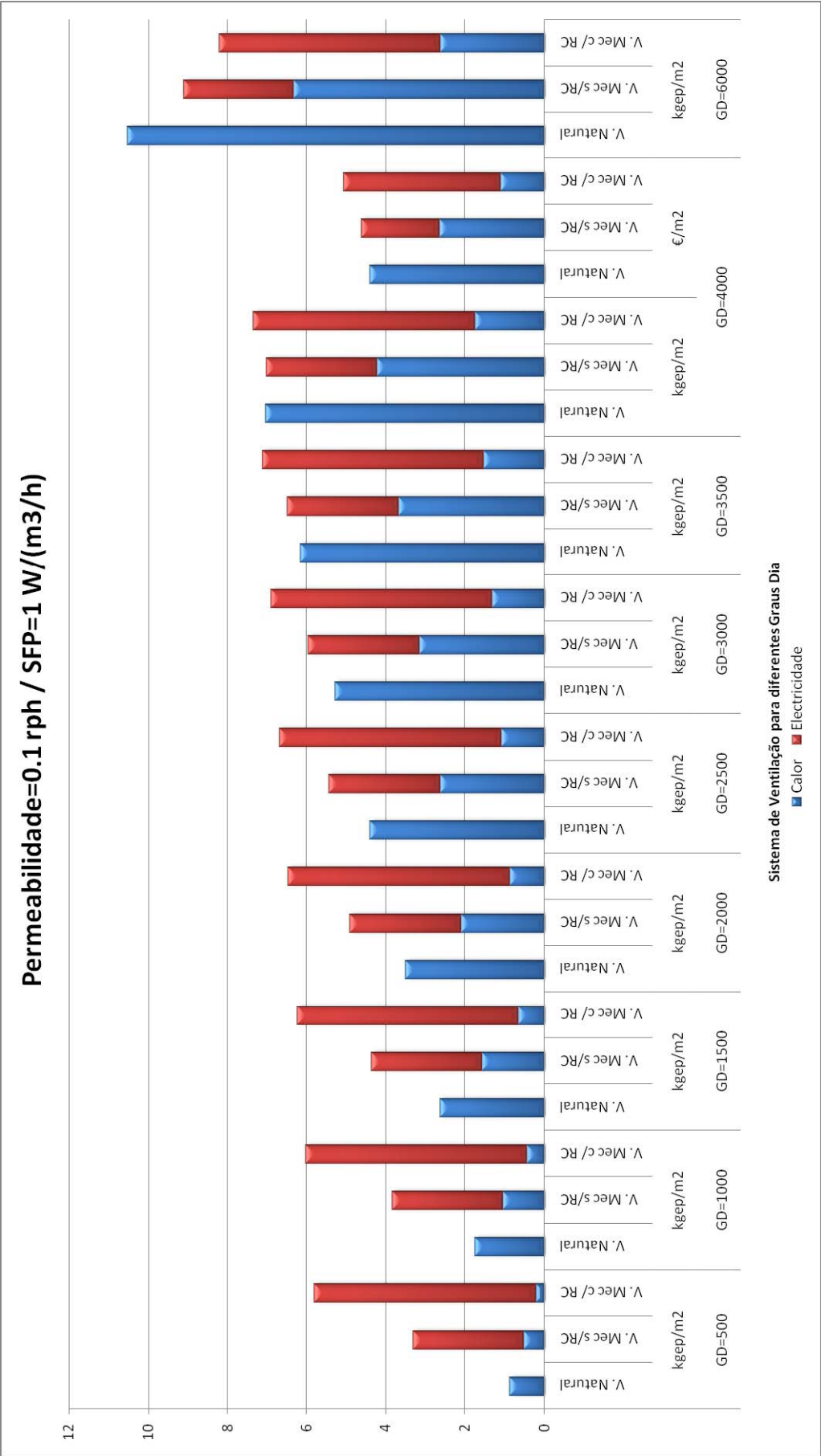


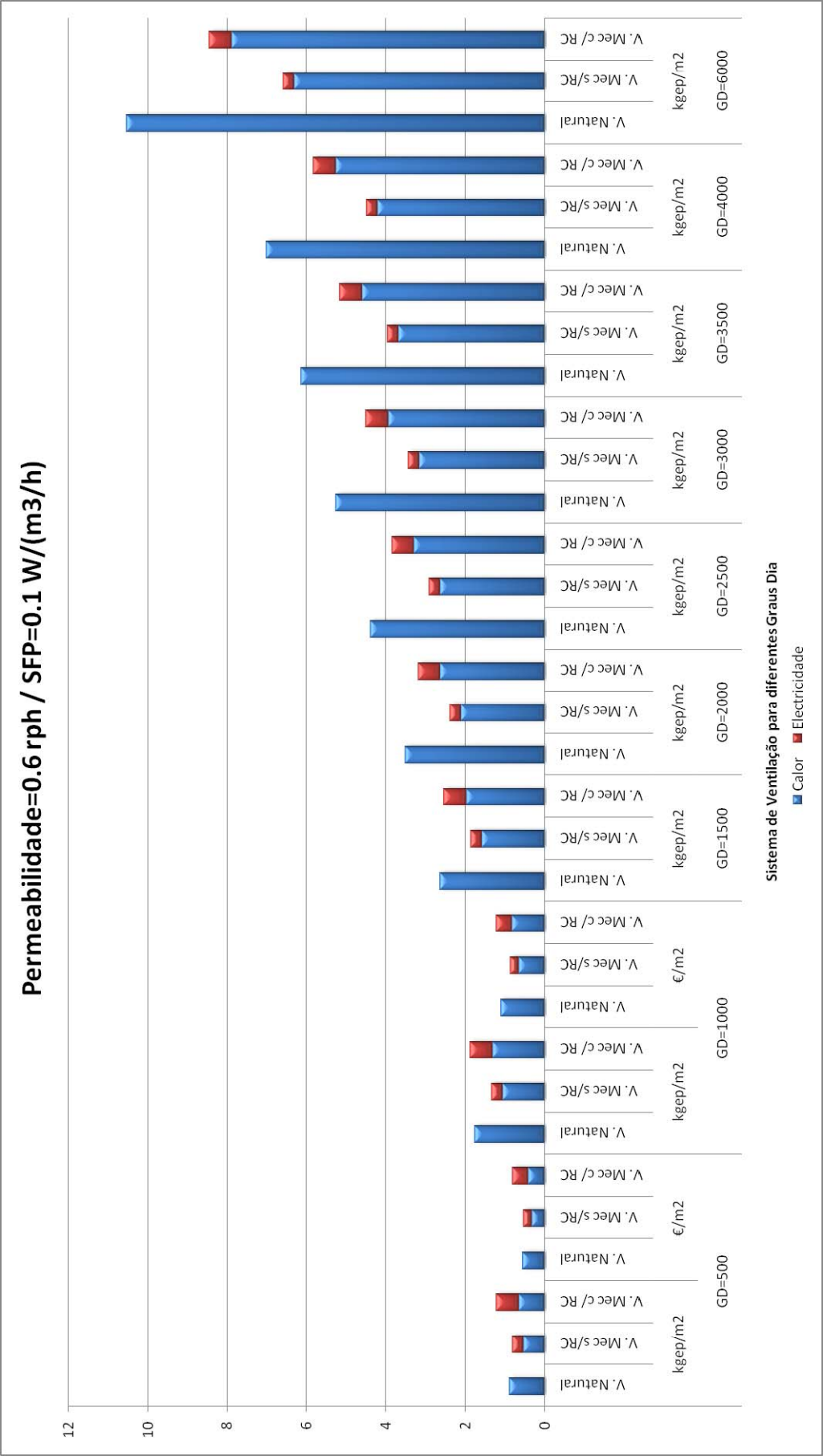


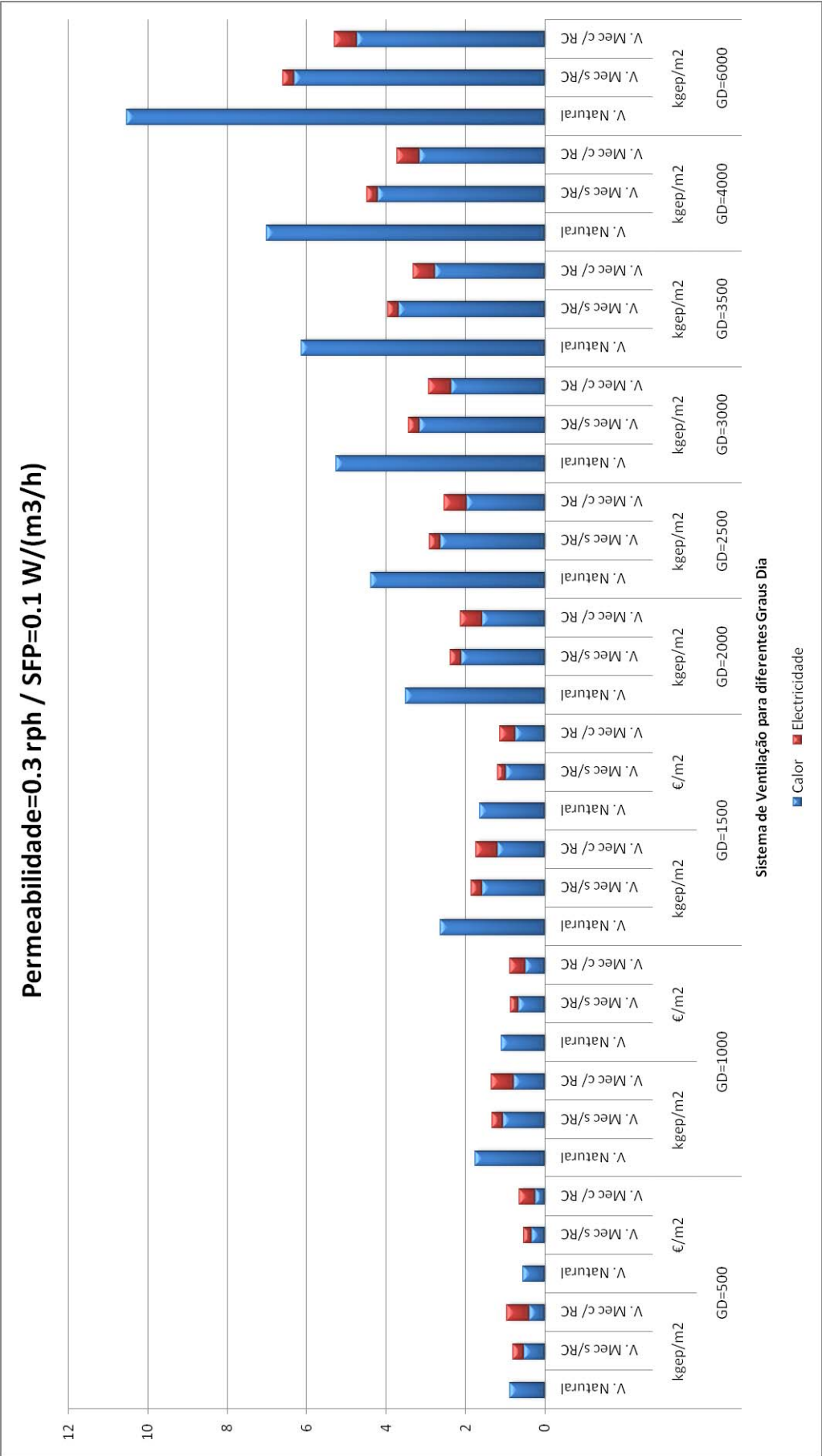


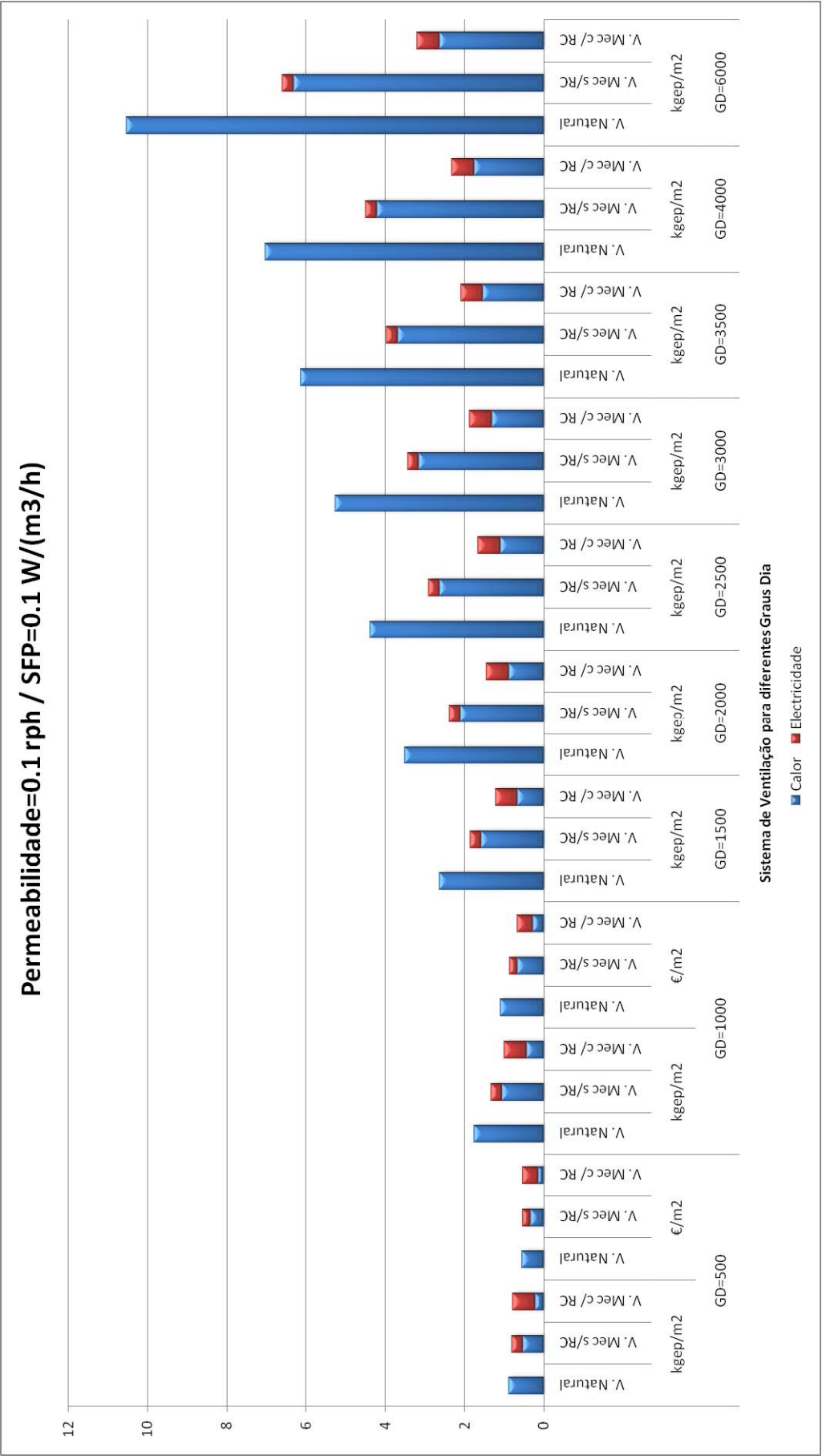




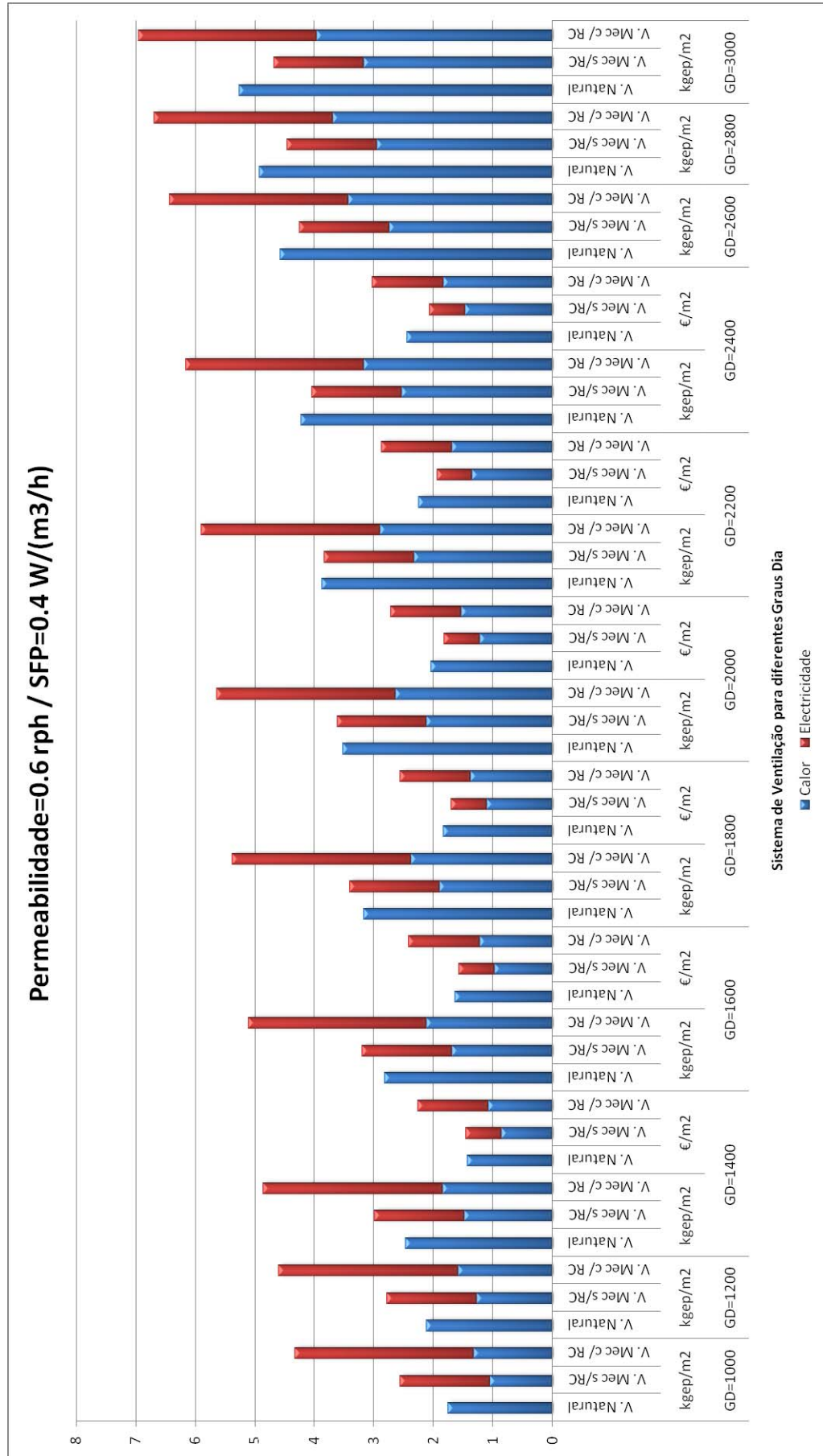


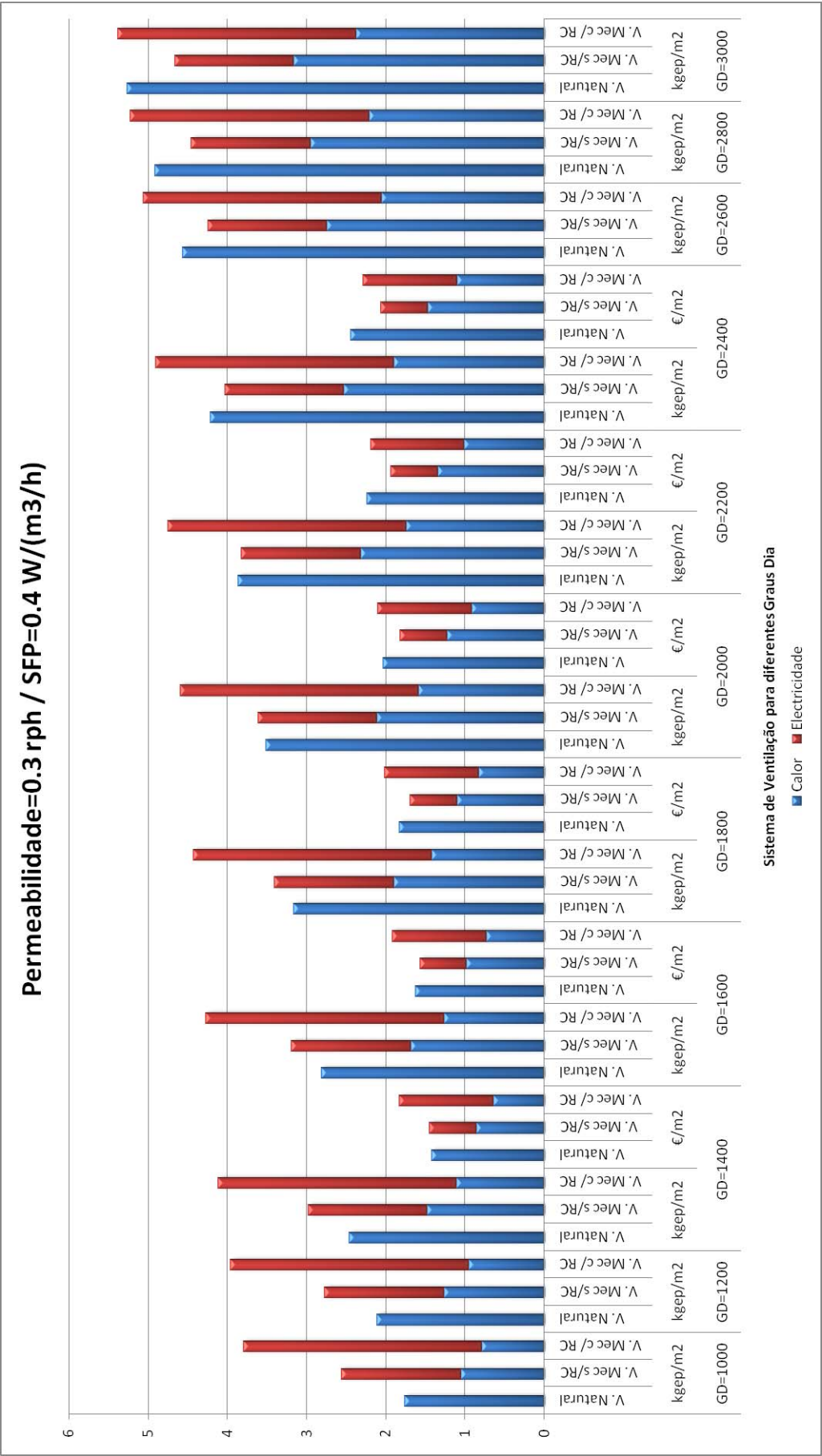


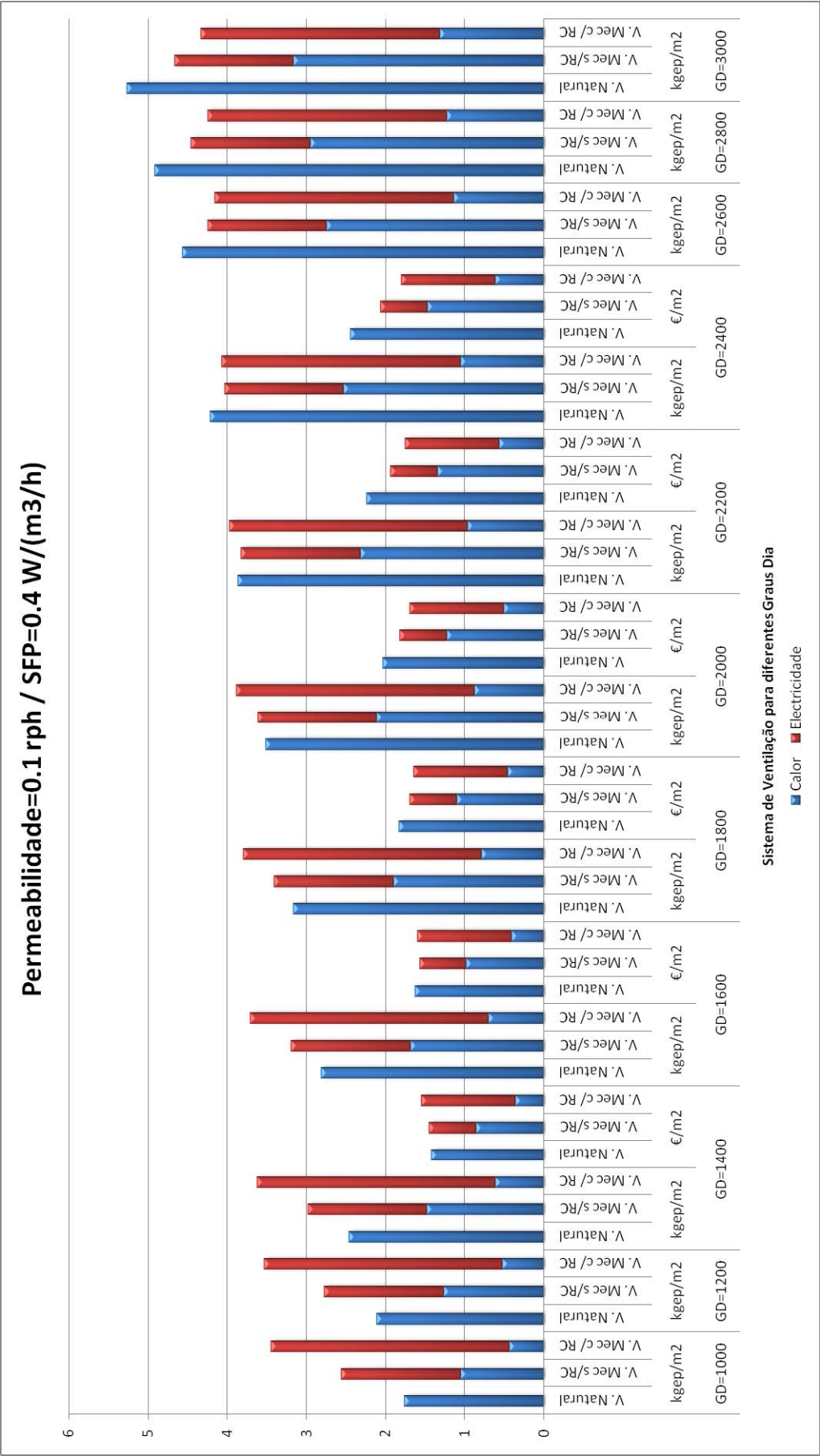


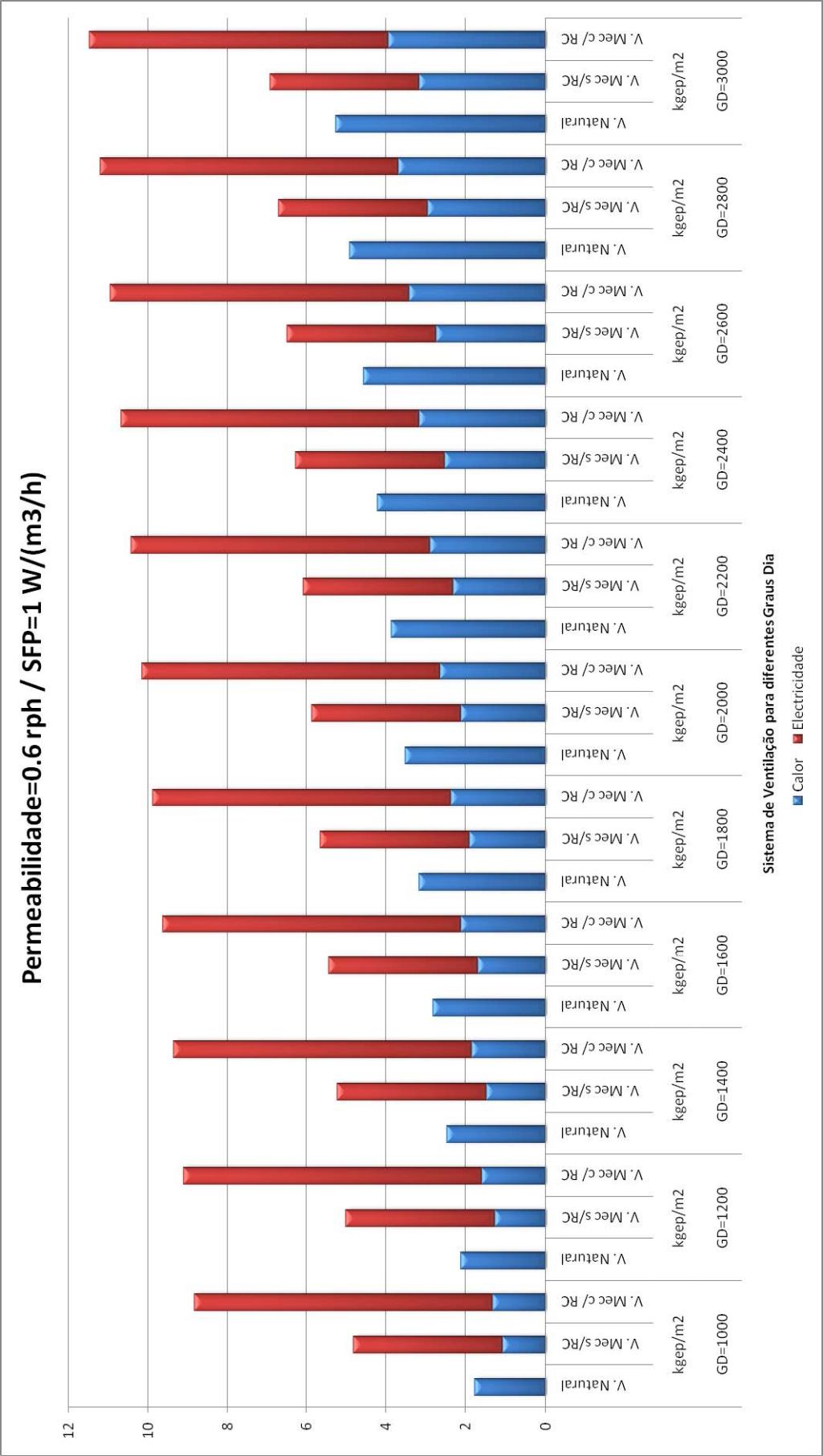


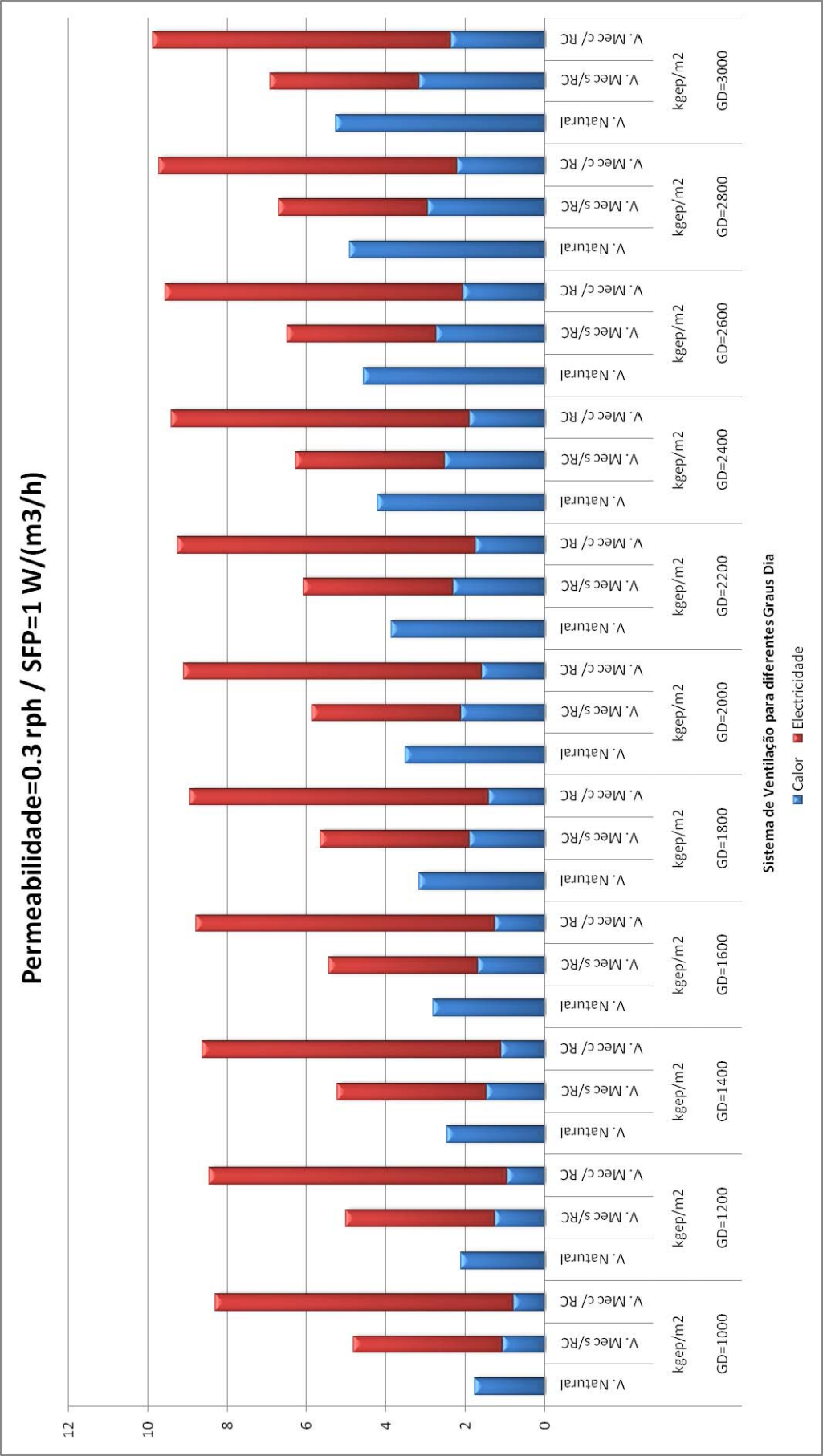
ANEXO B: Gráficos resumo da Análise Energética do Contexto Português

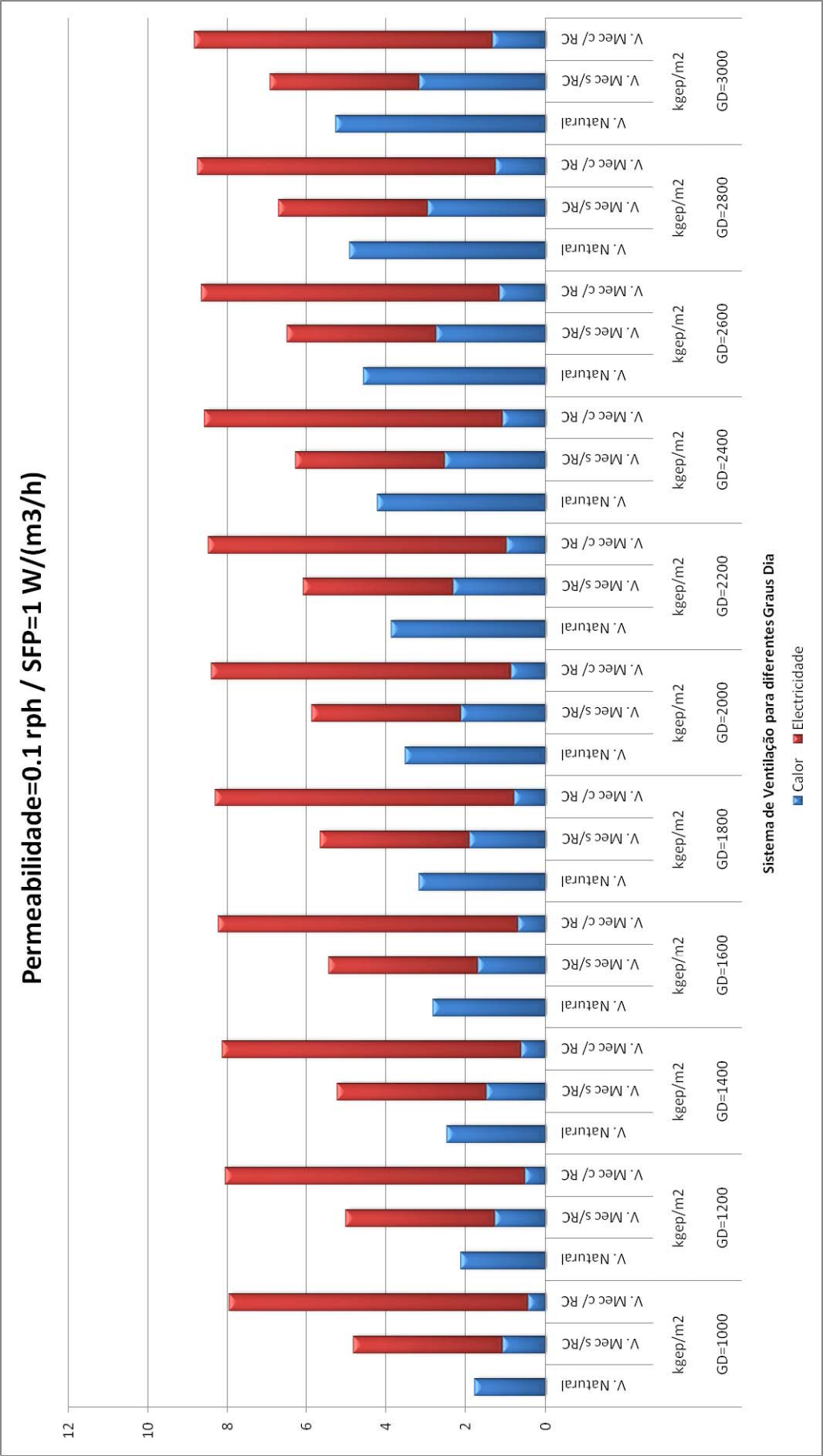


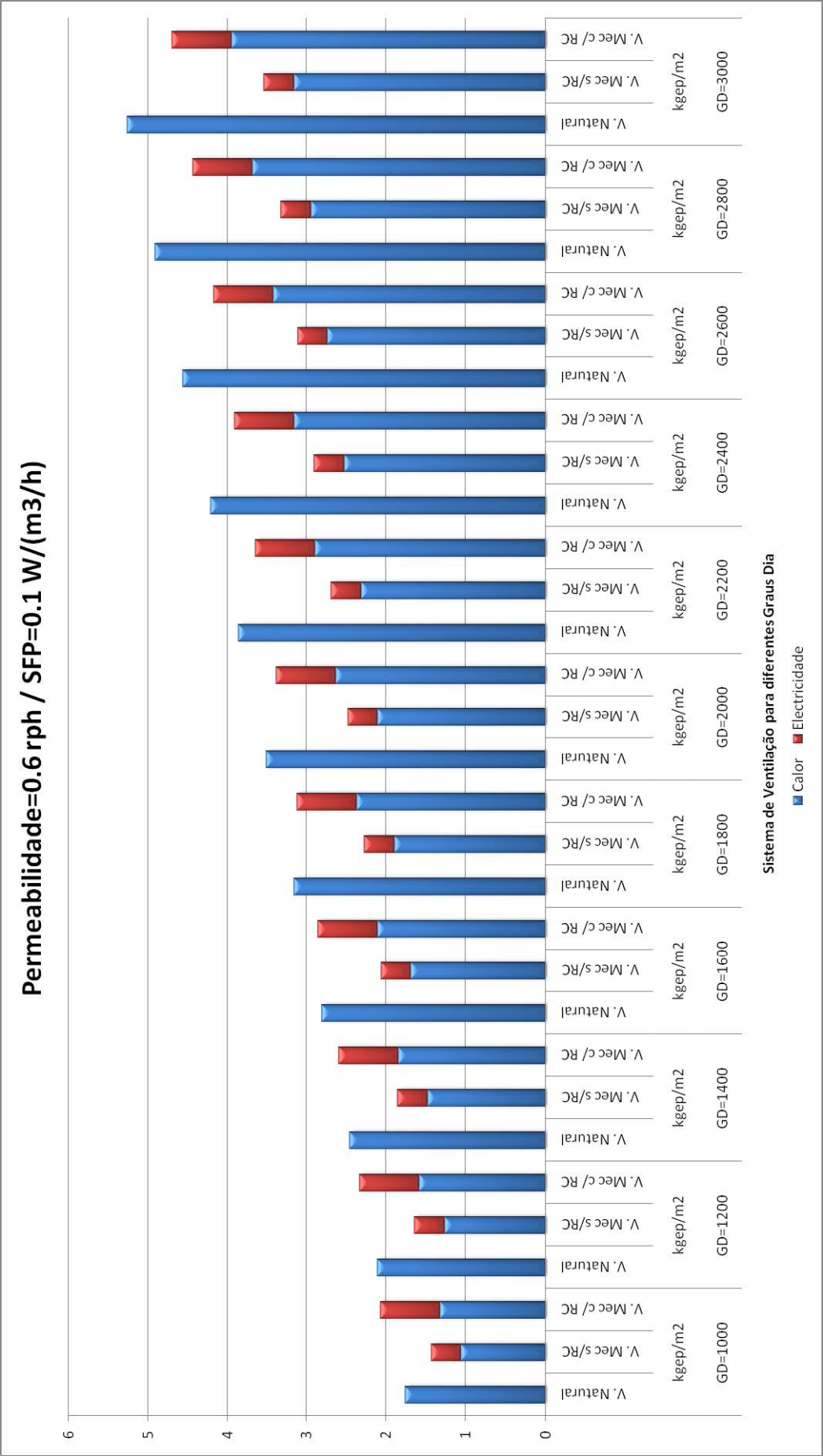


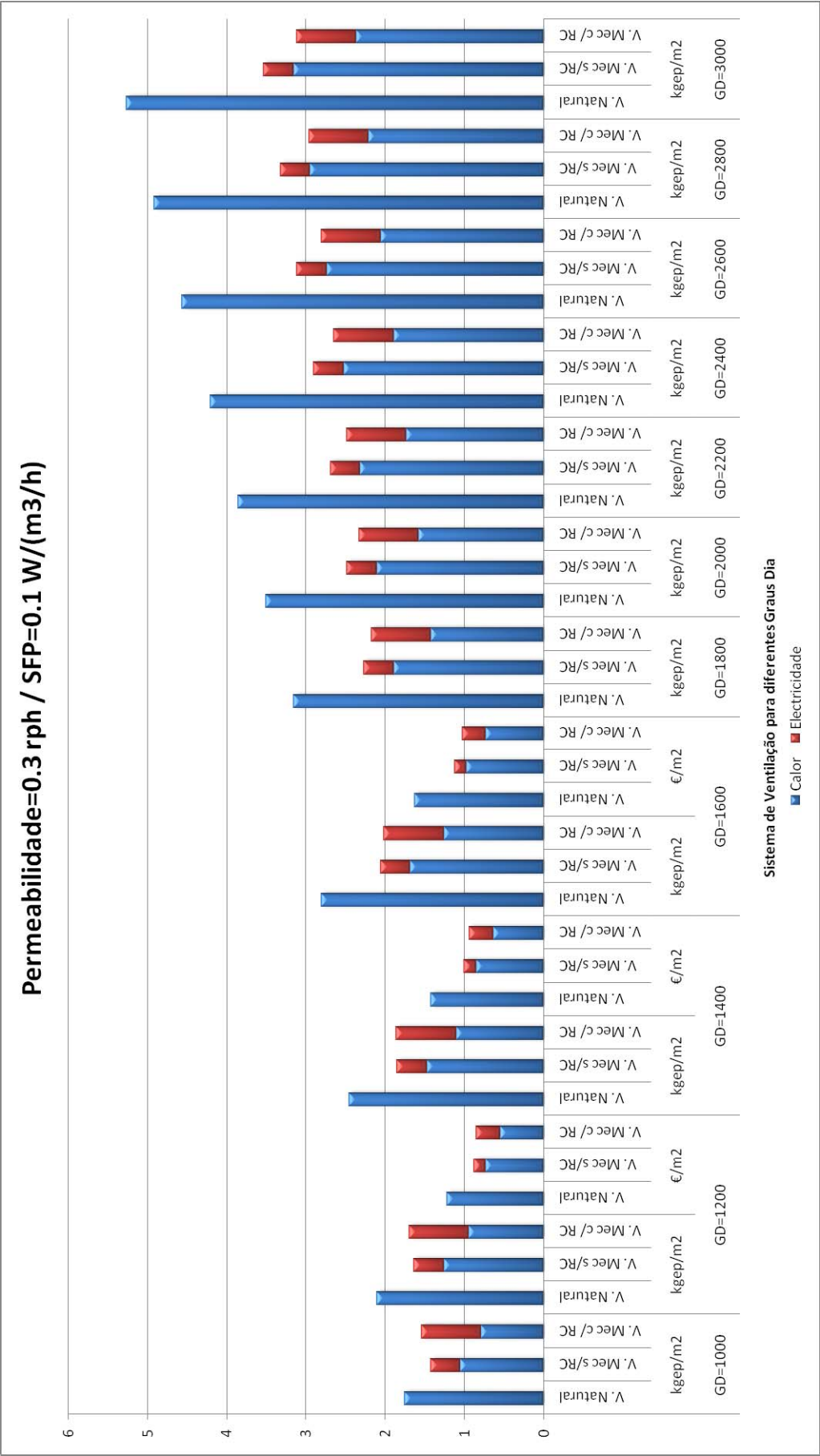


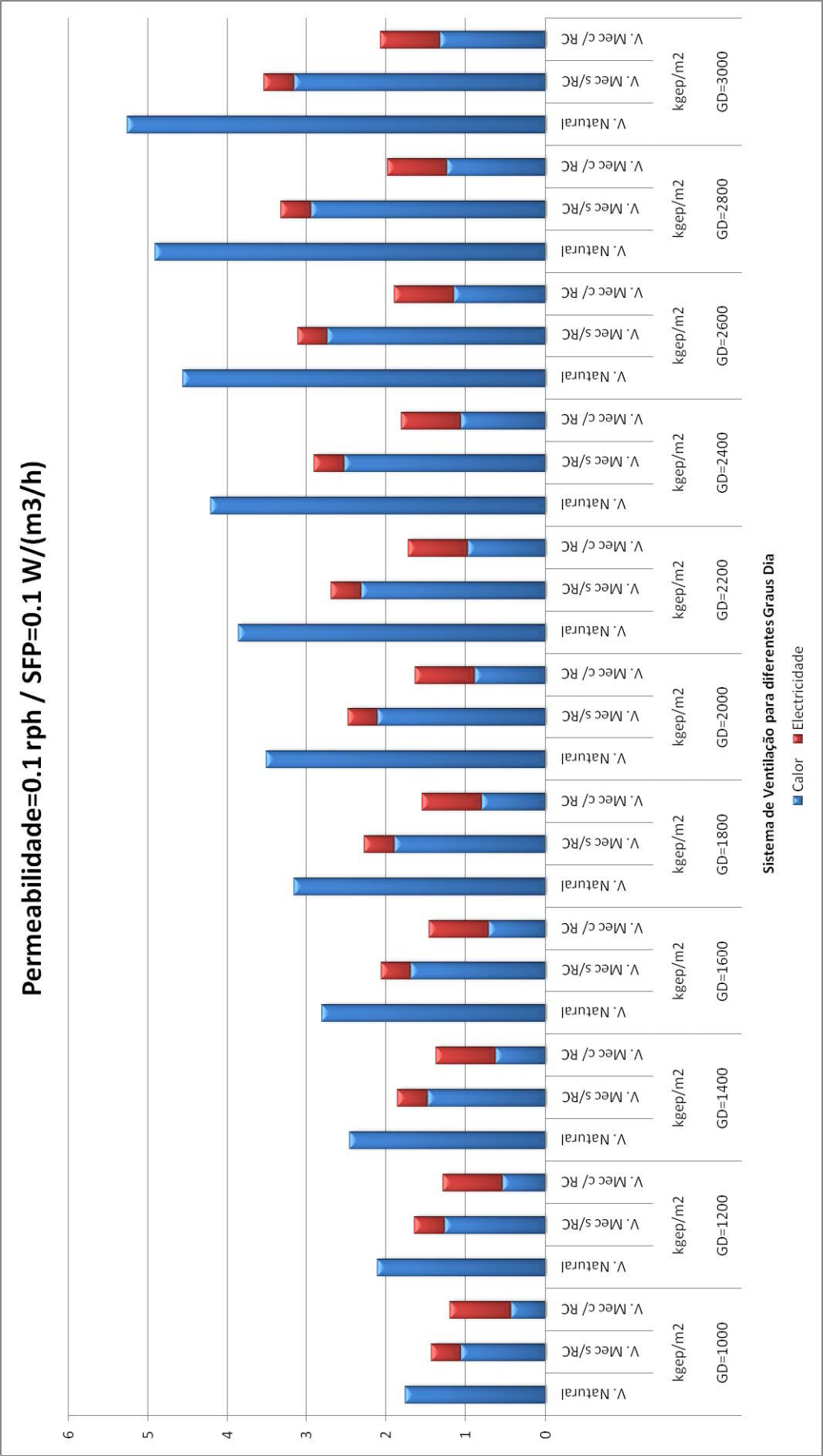












ANEXO C: Referências dos ventiladores pesquisados

Marca	Referência	Caudal (m ³ /h)	ΔP (Pa)	Potência (W)	SFP (W/(m ³ /h))
System Air [8]	K 150 M	220	208	59	0,3
	K 160 M	244	202	62	0,3
	K 150 XL	261	196	68	0,3
	KD 200 L1	296	244	159	0,5
	KVK 125	297	139	86	0,3
	KVK 160 L	304	246	111	0,4
	KVK 200	326	273	131	0,4
	K 200 L	292	320	99	0,3
	K 200 L	300	453	137	0,5
	K 200 M	296	333	99	0,3
	K 250 L	292	200	84	0,3
	K 250 L	300	329	100	0,3
	K 250 L	308	458	138	0,5
France Air [15]	Canal'air M 160	430		96	0,2
	Canal'air C 160	430		71	0,2
	Silens'air 160 B	288		105	0,4
	Rectilys 300	300	100	55	0,2
	Rectilys 600	300	300	159	0,5
	Rectilys 900	300	400	258	0,9
	Modulys EXT 400 A	300	250	290	1
	Sirius 600	300	160	80	0,3
	Sirius 1200	300	170	160	0,5