



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DO CONTRIBUTO DA INÉRCIA TÉRMICA PARA A
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS**

Pedro Manuel Cabrol Henriques

**Dissertação
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
(CONSTRUÇÃO)**

ORIENTADOR: Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

janeiro de 2013



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DO CONTRIBUTO DA INÉRCIA TÉRMICA PARA A
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS**

Pedro Manuel Cabrol Henriques

**Dissertação
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
(CONSTRUÇÃO)**

ORIENTADOR: Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

janeiro de 2013

Para os meus irmãos, Sofia e João

SUMÁRIO

A eficiência energética dos edifícios é um tema cada vez mais relevante no contexto do desenvolvimento sustentável. Neste âmbito, o objetivo da presente dissertação foi analisar a influência da inércia térmica nas necessidades energéticas de climatização de edifícios em Portugal.

A metodologia aplicada consistiu em calcular as necessidades de climatização de um conjunto de modelos idênticos mas com níveis de inércia térmica distintos, necessárias para manter as temperaturas interiores entre os 20°C e os 25°C, para dois climas distintos representantes do território nacional.

Os resultados demonstram que edifícios com níveis de inércia térmica mais altos tendem a sofrer variações de temperatura mais lentas e com menor amplitude, relativamente a edifícios com níveis de inércia térmica inferiores, o que resulta em necessidades de climatização menores. Estas conclusões foram particularmente evidentes nas necessidades de aquecimento no clima mais frio e nas necessidades de arrefecimento do clima mais quente.

Palavras-chave: Inércia térmica, comportamento térmico de edifícios, eficiência energética, construção sustentável

Evaluation of the thermal mass's influence in the energy efficiency of buildings.

ABSTRACT

Building's energy efficiency is a subject of growing relevance in the context of sustainable development. For this reason, the objective of the present dissertation was to analyse the influence of thermal mass in cooling and heating loads of Portuguese buildings.

The methodology consisted in evaluating the cooling and heating loads of a set of identical building models with different levels of thermal mass required to assure that internal temperatures remain between 20°C and 25°C, for two distinct Portuguese weather profiles.

Results show that internal temperatures in heavyweight buildings change more slowly and with less amplitude than in lightweight buildings, which results in less energy consumption. These conclusions revealed to be more evident for heating loads in colder weather and for cooling loads in warmer conditions.

Keywords: Thermal mass, buildings' thermal performance, energy efficiency, sustainable construction

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a elaboração desta dissertação, em particular:

ao Professor Doutor José Júlio Correia da Silva, pela orientação prestada,;

ao Arquiteto António Borges Abel por gentilmente ter cedido o projeto que serviu de base aos modelos utilizados no estudo;

aos meus pais, Luís Henriques e Aldina Cabrol, à minha namorada, Berenike Lemper, e a todos os amigos e familiares, pelo apoio e incentivo.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos	5
1.3. Estrutura	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Comportamento térmico de edifícios	8
2.2. Inércia térmica.....	13
2.3. Legislação.....	16
2.4. Exemplos da influência da inércia no comportamento térmico de edifícios	21
3. METODOLOGIA	28
3.1. Método	29
3.2. Modelo base	30
3.3. Modelo de inércia térmica fraca	36
3.4. Modelo de inércia térmica média.....	40
3.5. Modelo de inércia térmica forte	45
4. RESULTADOS.....	49
4.1. IES_VE - Sevilha.....	50
4.2. IES_VE - Porto.....	54
4.3. RCCTE - Évora	59
4.4. RCCTE - Porto.....	62
5. ANÁLISE DE RESULTADOS	65
6. DISCUSSÃO	74
7. CONCLUSÃO	78
8. BIBLIOGRAFIA	81
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Ganhos internos médios por unidade de área útil de pavimento.....	13
Tabela 2.2 - Classes de inércia térmica interior.....	19
Tabela 3.1 - Localização e dados climáticos	32
Tabela 3.2 - Caracterização geral	32
Tabela 3.3 - Ventilação.....	33
Tabela 3.4 - Vãos envidraçados exteriores.....	33
Tabela 3.5 - Piso térreo	33
Tabela 3.6 - Elementos em contato com o solo.....	34
Tabela 3.7 - Envolvente opaca exterior	34
Tabela 3.8 - Pontes térmicas lineares da envolvente exterior.....	34
Tabela 3.9 - Espaços não úteis	35
Tabela 3.10 - Envolvente opaca interior	35
Tabela 3.11 - Pontes térmicas lineares da envolvente interior.....	35
Tabela 3.12 - Laje de esteira (IT fraca).....	36
Tabela 3.13- Laje do piso 1 (IT fraca).....	37
Tabela 3.14 - Laje do piso térreo (IT fraca).....	38
Tabela 3.15 - Parede exterior (IT fraca).....	38
Tabela 3.16 - Parede espaço não útil (IT fraca).....	39
Tabela 3.17 - Parede interior (IT fraca).....	39
Tabela 3.18 - Cálculo da inércia térmica (IT fraca)	40
Tabela 3.19 - Laje de esteira (IT média).....	41
Tabela 3.20- Laje do piso 1 (IT média)	41
Tabela 3.21 - Laje do piso térreo (IT média).....	42
Tabela 3.22 - Parede exterior (IT média).....	43
Tabela 3.23 - Parede espaço não útil (IT média)	43

Tabela 3.24 - Parede interior (IT média).....	44
Tabela 3.25 - Cálculo da inércia térmica (IT média)	44
Tabela 3.26 - Laje de esteira (IT forte)	45
Tabela 3.27- Laje do piso 1 (IT forte).....	46
Tabela 3.28 - Laje do piso térreo (IT forte)	46
Tabela 3.29 - Parede exterior (IT forte)	47
Tabela 3.30 - Parede c/ espaço não útil (IT forte).....	47
Tabela 3.31 - Parede interior (IT forte)	48
Tabela 3.32 - Cálculo da classe de inércia térmica (IT forte)	48
Tabela 4.1 - Necessidades nominais de climatização (IES) Sevilha	50
Tabela 4.2 - Necessidades nominais de climatização por divisão (IES) Sevilha.....	51
Tabela 4.3 - Necessidades nominais de climatização (IES) Porto	54
Tabela 4.4 - Necessidades nominais de climatização por divisão (IES) Porto	55
Tabela 5.1 - Valores do fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento ...	67
Tabela 5.2 - Valores do fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento ...	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pontes térmicas	10
Figura 2.2 - Efeitos da inércia térmica no verão	14
Figura 2.4 - Desfasamento e amortecimento devido à inércia térmica.....	15
Figura 2.3 - Efeitos da inércia térmica no inverno.....	15
Figura 2.5 - Zonas climáticas de inverno e verão	17
Figura 2.6 - Valores do fator de utilização de ganhos térmicos.....	20
Figura 2.7 - Edifício Walton Hall	21
Figura 2.8 - Corte esquemático do edifício	21
Figura 2.9 - Janelas basculantes com sistema de sombreamento integrado	22
Figura 2.10 - Temperaturas exterior, interior e da laje do teto num período de verão.....	23
Figura 2.11 - Edifício Portland	24
Figura 2.12 - Planta do edifício.....	24
Figura 2.13 - Temperaturas exterior, interior e da laje num período de verão.....	25
Figura 2.14 - Temperaturas interiores, das lajes e exterior num período quente	26
Figura 2.15 - Temperaturas interiores, das lajes e do exterior num período típico de verão	27
Figura 2.16 - Temperaturas interiores, das lajes e exterior num período frio de verão	27
Figura 3.1 - Fachada sul.....	30
Figura 3.2 - Fachada norte	30
Figura 3.3 - Planta do piso térreo	31
Figura 3.4 - Planta do 1º piso	31
Figura 3.5 - Modelo base, vista norte	31
Figura 3.6 - Modelo base, vista sul.....	31
Figura 3.7 - Laje de esteira (IT fraca)	36
Figura 3.8 - Laje do piso 1 (IT fraca).....	37
Figura 3.9 - Laje do piso térreo (IT fraca)	37

Figura 3.10 - Parede exterior (IT fraca)	38
Figura 3.11 - Parede espaço não útil (IT fraca)	39
Figura 3.12 - Parede interior (IT fraca)	39
Figura 3.13 - Laje de esteira (IT média).....	40
Figura 3.14 - Laje do piso 1 (IT média).....	41
Figura 3.15 - Laje do piso térreo (IT média).....	42
Figura 3.16 - Parede exterior (IT média).....	42
Figura 3.17 - Parede de espaço não útil (IT média).....	43
Figura 3.18 - Parede interior (IT média).....	44
Figura 3.19 - Laje de esteira (IT forte)	45
Figura 3.20 - Laje do piso 1 (IT forte)	45
Figura 3.21 - Laje do piso térreo (IT forte).....	46
Figura 3.22 - Parede exterior (IT forte)	47
Figura 3.23 - Parede espaço não útil (IT forte)	47
Figura 3.24 - Parede interior (IT forte)	48
Figura 4.1 - Necessidades nominais de aquecimento (IES) Sevilha	50
Figura 4.2 - Necessidades nominais de arrefecimento (IES) Sevilha.....	51
Figura 4.3 - Necessidades nominais de aquecimento por divisão (IES) Sevilha	51
Figura 4.4 - Necessidades nominais de arrefecimento por divisão (IES) Sevilha.....	52
Figura 4.5 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Sevilha (31 dez)	52
Figura 4.6 - Necessidades de climatização (kW) - IT média - Sevilha (31 dez).....	52
Figura 4.7 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Sevilha (31 dez)	53
Figura 4.8 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Sevilha (14 set)	53
Figura 4.9 - Necessidades de climatização (kW)- IT média - Sevilha (14 set)	53
Figura 4.10 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Sevilha (14 set)	54
Figura 4.11 - Necessidades nominais de aquecimento (IES) Porto	55
Figura 4.12 - Necessidades nominais de arrefecimento (IES) Porto.....	55

Figura 4.13 - Necessidades nominais de aquecimento por divisão (IES) Porto	56
Figura 4.14 - Necessidades nominais de arrefecimento por divisão (IES) Porto.....	56
Figura 4.15 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Porto (3 jan)	56
Figura 4.16 - Necessidades de climatização (kW) - IT média - Porto (3 jan).....	57
Figura 4.17 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Porto (3 jan)	57
Figura 4.18 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Porto (10 set)	57
Figura 4.19 - Necessidades de climatização (kW) - IT média - Porto (10 set).....	58
Figura 4.20 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Porto (10 set)	58
Figura 5.1 - Necessidades nominais de climatização (RCCTE) Évora.....	66
Figura 5.2 - Necessidades nominais de climatização (RCCTE) Porto	67
Figura 5.3 - Necessidades nominais de climatização (IES) Sevilha.....	69
Figura 5.4 - Necessidades nominais de climatização (IES) Porto.....	69
Figura 5.5 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Sevilha (31 dez.)	70
Figura 5.6 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Sevilha (14 set.)	71
Figura 5.7 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Porto (25 jan.)	71
Figura 5.8 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Porto (3 out.).....	71
Figura 0.1 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - janeiro	87
Figura 0.2 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - fevereiro	87
Figura 0.3 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - março	87
Figura 0.4 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - abril	88
Figura 0.5 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - maio	88
Figura 0.6 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - junho	88
Figura 0.7 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - julho	89
Figura 0.8 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - agosto	89
Figura 0.9 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - setembro	89
Figura 0.10 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - outubro	90
Figura 0.11 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - novembro	90

Figura 0.12 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - dezembro	90
Figura 0.13 - Dados climáticos (IES) Sevilha - 31 dezembro	91
Figura 0.14 - Dados climáticos (IES) Sevilha - 14 setembro	91
Figura 0.15 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - janeiro.....	93
Figura 0.16 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - fevereiro	93
Figura 0.17 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - março	93
Figura 0.18 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - abril	94
Figura 0.19 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - maio	94
Figura 0.20 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - junho	94
Figura 0.21 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - julho.....	95
Figura 0.22 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - agosto.....	95
Figura 0.23 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - setembro	95
Figura 0.24 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - outubro	96
Figura 0.25 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - novembro	96
Figura 0.26 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - dezembro	96
Figura 0.27 - Dados climáticos (IES) Porto - 3 janeiro	97
Figura 0.28 - Dados climáticos (IES) Porto - 10 setembro	97
Figura 0.29 - Necessidades de aquecimento - sala - Sevilha	99
Figura 0.30 - Necessidades de arrefecimento - sala - Sevilha	99
Figura 0.31 - Necessidades de aquecimento - quarto 1 - Sevilha	99
Figura 0.32 - Necessidades de arrefecimento - quarto 1 - Sevilha	99
Figura 0.33 - Necessidades de aquecimento - quarto 2 - Sevilha	99
Figura 0.34 - Necessidades de arrefecimento - quarto 2- Sevilha	99
Figura 0.35 - Necessidades de aquecimento - cozinha - Sevilha.....	100
Figura 0.36 - Necessidades de arrefecimento - cozinha - Sevilha	100
Figura 0.37 - Necessidades de aquecimento - corredor r/c - Sevilha.....	100
Figura 0.38 - Necessidades de arrefecimento - corredor r/c - Sevilha	100

Figura 0.39 - Necessidades de aquecimento - <i>suite</i> - Sevilha	100
Figura 0.40 - Necessidades de arrefecimento - <i>suite</i> - Sevilha	100
Figura 0.41 - Necessidades de aquecimento - casa de banho - Sevilha.....	101
Figura 0.42 - Necessidades de arrefecimento - casa de banho - Sevilha	101
Figura 0.43 - Necessidades de aquecimento - corredor P1 - Sevilha	101
Figura 0.44 - Necessidades de arrefecimento - corredor P1- Sevilha	101
Figura 0.45 - Necessidades de aquecimento - dispensa - Sevilha.....	101
Figura 0.46 - Necessidades de arrefecimento - dispensa - Sevilha	101
Figura 0.47 - Necessidades de aquecimento - wc - Sevilha	102
Figura 0.48 - Necessidades de arrefecimento - wc - Sevilha	102
Figura 0.49 - Necessidades de aquecimento - <i>ensuite</i> - Sevilha	102
Figura 0.50 - Necessidades de arrefecimento - <i>ensuite</i> - Sevilha	102
Figura 0.51 - Necessidades de aquecimento - sala - Porto	104
Figura 0.52 - Necessidades de arrefecimento - sala - Porto	104
Figura 0.53 - Necessidades de aquecimento - quarto 1 - Porto	104
Figura 0.54 - Necessidades de arrefecimento - quarto 1 - Porto.....	104
Figura 0.55 - Necessidades de aquecimento - quarto 2 - Porto	104
Figura 0.56 - Necessidades de arrefecimento - quarto 2- Porto.....	104
Figura 0.57 - Necessidades de aquecimento - cozinha - Porto.....	105
Figura 0.58 - Necessidades de arrefecimento - cozinha - Porto	105
Figura 0.59 - Necessidades de aquecimento - corredor r/c - Porto.....	105
Figura 0.60 - Necessidades de arrefecimento - corredor r/c - Porto.....	105
Figura 0.61 - Necessidades de aquecimento - <i>suite</i> - Porto	105
Figura 0.62 - Necessidades de arrefecimento - <i>suite</i> - Porto	105
Figura 0.63 - Necessidades de aquecimento - casa de banho - Porto.....	106
Figura 0.64 - Necessidades de arrefecimento - casa de banho - Porto	106
Figura 0.65 - Necessidades de aquecimento - corredor P1 - Porto	106

Figura 0.66 - Necessidades de arrefecimento - corredor P1- Porto	106
Figura 0.67 - Necessidades de aquecimento - dispensa - Porto	106
Figura 0.68 - Necessidades de arrefecimento - dispensa - Porto	106
Figura 0.69 - Necessidades de aquecimento - wc - Porto.....	107
Figura 0.70 - Necessidades de arrefecimento - wc - Porto	107
Figura 0.71 - Necessidades de aquecimento - <i>ensuite</i> - Porto.....	107
Figura 0.72 - Necessidades de arrefecimento - <i>ensuite</i> - Porto	107

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A inércia térmica dos edifícios é uma propriedade que resulta das características intrínsecas dos seus materiais e elementos constituintes, à qual está associada a capacidade de regular a temperatura interior dos edifícios, de forma a contribuir para a redução dos consumos energéticos com a climatização (BSRIA, 2009). No entanto, a complexidade do fenómeno e a característica cíclica dos efeitos da inércia térmica torna-os algo difíceis de compreender e contabilizar, o que leva a que sejam frequentemente menosprezados e subaproveitados, perdendo-se assim uma boa oportunidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios e de contribuir para um desenvolvimento mais sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi definido pela primeira vez em 1987 pela Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento (também conhecida como Comissão de Brundtland) no relatório *Our Common Future* (1987) como o “desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações do futuro de satisfazerem as suas próprias necessidades”. O conceito pressupõe o equilíbrio das relações de interdependência de três pilares fundamentais: pilar social, pilar económico e pilar ambiental, tendo presente os limites finitos do planeta, nomeadamente a disponibilidade de recursos naturais e a capacidade para absorver impactos ambientais sem sofrer alterações climáticas significativas.

Neste âmbito, o consumo energético representa um dos fatores mais críticos para o desenvolvimento sustentável, devido à preponderância da sua influência nos três pilares fundamentais do desenvolvimento. Com efeito a energia, obtida na sua maioria através de fontes não renováveis como o petróleo e o gás natural, representa 80% da totalidade das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na União Europeia (Agência Europeia do Ambiente, 2008). Por outro lado, a energia representa também um fator muito importante para a economia, especialmente em países com poucos recursos energéticos naturais como é o caso de Portugal, onde o nível de dependência energética do estrangeiro da última década tem ultrapassado os 80%, e que significou em 2010 um saldo importador de produtos energéticos da ordem dos 5600 milhões de euros (DGEG, 2012). Para além disso, o progressivo aumento do preço da energia, seja ele devido a instabilidades político/sociais nos países produtores, custos de prospeção e produção cada vez maiores, ou outros, tem contribuído para o agravamento do peso da fatura energética no orçamento de famílias, empresas e até do próprio Estado, agravando a sua condição financeira e social.

Consciente da importância do papel da energia para o modelo de desenvolvimento sustentável, a União Europeia (UE), por forma a cumprir o compromisso assumido no Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, desenvolveu uma política onde estabeleceu um conjunto de metas a atingir em 2020, com vista à promoção da eficiência energética e de uma economia de baixo carbono:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 20%, relativamente aos valores de 1990 (aumentando até 30% caso se obtenha um acordo internacional).
- Elevar para 20% a parte das energias renováveis no consumo energético da UE até 2020.

(Comissão das Comunidades Europeias, 2008)

Para conseguir atingir estas metas, a União Europeia identificou um conjunto de áreas a intervir e apontou o sector da construção e em particular os edifícios como um dos sectores prioritários, devido ao peso dos impactos ambientais que representam e ao potencial de melhoria que lhes é reconhecido. Com efeito, o sector da construção, para além de consumir cerca de metade da totalidade dos recursos naturais extraídos da crosta terrestre e por ser o sector com maior volume de resíduos gerados, é também responsável por emitir cerca de um terço do total de gases com efeito de estufa (GEE) emitidos em todo o mundo (FIEC, 2005). Os números publicados pela União Europeia revelam que só os edifícios representam cerca de 31% do consumo total de energia em Portugal (habitação-17,3%, serviços-13,5%) e 37% do consumo total de energia da UE (habitação-24,5%, serviços-12,5%) (Eurostat, 2009), o que no caso Europeu corresponde a aproximadamente 38% do total de CO₂ emitido (Comissão Europeia, 2010). Estes dados evidenciam a importância do consumo energético em edifícios e o peso dos seus impactos, e levaram a UE a definir uma estratégia para a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios, através da publicação da Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético de edifícios (e da sua revisão pela Diretiva 2010/31/UE), a fim de os Estados Membros criarem/renovarem a legislação sobre a matéria, de forma a contribuir para uma mudança de paradigma, e assim alcançar as metas traçadas. Em Portugal esta estratégia traduziu-se no Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), no Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE) e no Regulamento das características do comportamento térmico de edifícios (RCCTE).

A consciencialização da importância da eficiência energética de edifícios, em conjunto com a nova legislação e novas soluções de mercado, tem resultado nos últimos anos numa melhoria generalizada dos níveis de desempenho dos novos edifícios, embora com resultados heterogéneos nos diferentes países Europeus (BPIE, 2011a).

Ao nível do conhecimento, uma das linhas orientadoras do estudo da eficiência energética dos edifícios, em particular do desempenho térmico, tem sido a do conceito de arquitetura passiva, ou seja, a otimização das características térmicas endógenas dos edifícios em função das características da sua localização e do ambiente envolvente, de forma a minimizar as necessidades energéticas para garantir as condições de conforto. Neste âmbito, a inércia térmica tem sido apontada por vários estudos e exemplos como sendo uma característica

passiva dos edifícios com capacidade para atuar como uma bateria térmica, capaz de atenuar os picos de temperatura interior, através da acumulação e libertação de calor nos seus elementos de maior massa (e.g. lajes, alvenarias), e assim contribuir para a redução das necessidades energéticas de climatização (BSRIA, 2009).

Com efeito, estudos recentes demonstram que edifícios de elevada inércia térmica tendem a sofrer variações de temperatura mais lentas e de menor amplitude em relação aos edifícios mais leves (Frota e Schiffer, 2001). Isto deve-se à capacidade dos seus elementos para acumular calor nos períodos mais quentes do dia, e o libertarem posteriormente, nos períodos mais frios, durante a noite, num ciclo diário (Balaras, 1995). Esta característica tem permitido desenvolver diversas estratégias de climatização que resultam na diminuição dos consumos energéticos. Para a situação de verão, por exemplo, a estratégia passa por acumular o calor em excesso durante o dia, para o libertar à noite através de ventilação natural, e assim minimizar as necessidades de arrefecimento. Na situação de inverno, a estratégia é acumular o calor dos ganhos solares que atravessam os vãos envidraçados para acumular esse calor, para que seja libertado à noite, durante o período mais frio do dia, contribuindo assim para a redução das necessidades de aquecimento (Braham *et.al.*, 2001). Para além disso, em ambas as situações, a inércia térmica dos edifícios também permite reduzir os custos e a potência de climatização necessária para manter os níveis de conforto, nos casos em que ainda subsistirem necessidades de climatização. Como a temperatura interior de edifícios pesados tende a variar de forma mais lenta, é possível recorrer à climatização noturna, quando a disponibilidade de energia é maior e o seu custo inferior, para estabelecer uma determinada temperatura de conforto, limitando-se assim a climatização durante o dia ao mínimo necessário para apenas manter essa temperatura (Kolokotroni, 2001).

Apesar dos benefícios que são reconhecidos à inércia térmica, a complexidade dos fenómenos envolvidos e a variabilidade dos seus efeitos consoante as condicionantes climáticas da sua localização tem feito com que a inércia térmica seja muitas vezes mal entendida e subaproveitada. Consequentemente, mesmo em regiões onde historicamente os edifícios aproveitavam a inércia térmica para se adaptar e responder às exigências do clima, como por exemplo no Alentejo, os novos edifícios tendem a ser mais leves e com revestimentos de superfícies que limitam os efeitos e os benefícios da inércia térmica, resultando por vezes em situações de menor conforto, especialmente durante o verão.

Por tudo isto, o estudo realizado nesta dissertação é dedicado à avaliação do contributo da inércia térmica no desempenho de edifícios, de forma a contribuir para a minimização das necessidades de climatização e a melhoria da eficiência energética.

1.2. Objetivo

A inércia térmica dos edifícios, presente maioritariamente em lajes e paredes, tem a capacidade de acumular e libertar calor de forma a regular a temperatura interior de edifícios, da mesma forma que uma barragem tem a capacidade para acumular e libertar água e assim regular o caudal de um rio. Deste modo, para compreender o fenómeno de armazenamento de calor nos elementos de edifícios e assim contribuir para a melhoria da sua eficiência energética, foi definido o seguinte objetivo:

Analisar a influência da inércia térmica nas necessidades energéticas de climatização de edifícios em Portugal.

A estratégia para atingir o objetivo proposto consistiu em comparar as necessidades de climatização de um conjunto de modelos de edifício idênticos com diferentes níveis de inércia térmica, em dois climas distintos, através de duas metodologias: primeiro a metodologia prevista pelo RCCTE, e segundo, através de uma análise dinâmica, com recurso ao programa de software *Integrated Environmental Solutions - Virtual Environment (IES_VE)*.

1.3. Estrutura

O corpo da presente dissertação encontra-se dividido em sete capítulos: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados, análise de resultados, discussão, conclusão e bibliografia.

O primeiro capítulo, de introdução ao estudo, inclui o enquadramento do trabalho desenvolvido e a justificação para a escolha do tema, a definição dos objetivos e as estratégias para os alcançar, e ainda a presente explicação da estrutura do trabalho.

O capítulo da revisão bibliográfica apresenta um conjunto de informação de forma a caracterizar o nível de conhecimento atual sobre a matéria e reúne os dados necessários para o desenvolvimento do estudo e aplicação das estratégias e metodologias adotadas.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia adotada, descreve as características do modelo de edifício escolhido para as análises e as suas variantes, assim como as condições da análise.

Os resultados das análises são apresentados no capítulo quarto, sendo seguido do capítulo da análise e discussão dos mesmos.

O capítulo da conclusão como o próprio nome indica, formaliza as principais conclusões do estudo. Para além disso, o capítulo apresenta ainda as principais limitações da investigação e sugestões para futuras investigações.

Por último, é apresentada bibliografia e os anexos que compreendem dados e/ou informações necessárias à compreensão do estudo, mas que por razões de formato não são incluídas no corpo do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Comportamento térmico de edifícios

Os edifícios são corpos que “vivem” numa relação dinâmica permanente com o exterior, com trocas de calor constantes através dos fenómenos de condução, convecção e radiação, e respeitando sempre o princípio da conservação de energia. Isto quer dizer que, excluindo os equipamentos de climatização, a temperatura interna dos edifícios, determinada pela quantidade de calor acumulado no interior do edifício, resulta do balanço energético das trocas de calor com o exterior, conjugadas com os ganhos internos dos próprios edifícios (e.g. ocupantes, iluminação, equipamentos elétricos, etc). Logicamente, quanto mais próxima for a temperatura interna resultante dos níveis de conforto menor será a energia necessária despendida para garantir o conforto térmico no interior do edifício. Assim interessa identificar as trocas de calor que podem ocorrer entre os edifícios e o exterior, assim como os ganhos com origem interna, que em conjunto compõem o balanço térmico dos edifícios, que são apresentadas neste subcapítulo através de uma breve revisão sobre as principais referências bibliográficas sobre o tema, disponíveis em português, nomeadamente Rodrigues, Piedade, e Braga (2009), ISQ (1996) e ainda Frota e Shiffer (2001).

Na avaliação do desempenho térmico de edifícios é prática comum decompor o balanço térmico de edifícios em trocas de calor entre edifícios e o ambiente exterior através de zonas correntes da envolvente, trocas com o exterior através de pontes térmicas, trocas por renovação de ar, ganhos solares pelos vãos envidraçados e ganhos internos.

Trocas de calor por zonas correntes

As trocas térmicas através de zonas correntes da envolvente (i.e. áreas da envolvente de características uniformes) ocorrem por condução através dos elementos e por convecção e radiação nas suas superfícies. Estas trocas variam essencialmente com a radiação solar, da velocidade e direção do vento, da diferença de temperaturas entre o exterior e o interior, e das características térmicas dos elementos da envolvente. No estudo do desempenho térmico de edifícios é prática comum caracterizar os elementos construtivos com base no seu coeficiente de transmissão térmica (*U-value*), expresso em W/m^2K , e que representa a quantidade de calor por segundo que atravessa um metro quadrado de um elemento, quando entre as duas superfícies se verifica uma determinada diferença de temperaturas. O *U-value* combina as resistências térmicas do material ou materiais que compõem um determinado elemento com a resistência superficial típica de cada material relativa aos processos de convecção e radiação, de forma a caracterizar com um só parâmetro os três processos de transmissão de calor.

O cálculo do fluxo de calor que em regime permanente atravessa um determinado elemento pode assim ser calculado através de uma expressão do tipo daquela que é apresentada pela equação (1), em baixo. O cálculo da totalidade das trocas de calor pelas zonas correntes dos edifícios é obtido através da soma dos resultados da aplicação da expressão apresentada para cada elemento distinto da envolvente (e.g. coberturas, paredes, janelas, pavimentos).

$$Q = UA(\theta_i - \theta_e) + UA\left(\frac{\alpha I}{h_{se}}\right) \quad (1)$$

em que:

Q é o fluxo de calor transmitido através do elemento (W)

A é a área do elemento perpendicular ao fluxo (m²)

U é o coeficiente de transmissão térmica do elemento (W/m²°C)

θ_i é a temperatura do ar interior (°C)

θ_e é a temperatura do ar exterior (°C)

α é coeficiente de absorção da superfície exterior

I é a intensidade da radiação solar incidente na superfície (W/m²)

h_{se} condutância térmica superficial exterior da superfície (W/m²°C)

Nota: na legislação portuguesa e em alguns estudos, a componente relativa aos ganhos devido à radiação solar [$UA(\alpha I/h_{se})$] é desprezada no cálculo dos ganhos da estação de aquecimento.

Trocas de calor por pontes térmicas

Ao contrário das zonas correntes, as pontes térmicas são zonas das envolventes dos edifícios caracterizadas por causarem irregularidades no fluxo de calor devido às heterogeneidades das suas resistências térmicas. Por conseguinte, as linhas de fluxo de calor, ao atravessarem uma ponte térmica, perdem o paralelismo característico do fluxo através de zonas correntes, dando origem a aumentos de fluxo localizados, o que resulta em trocas de calor mais acentuadas.

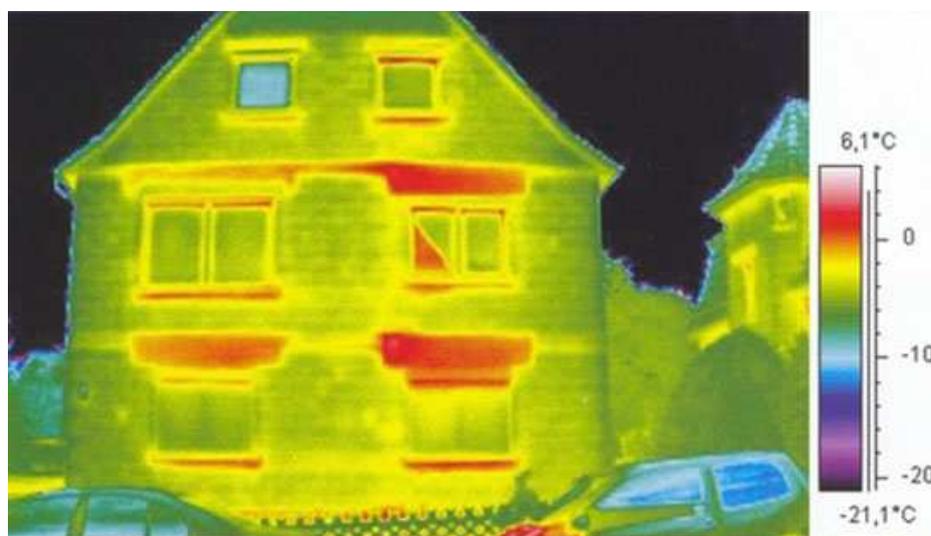


Figura 2.1 - Pontes térmicas

Em edifícios as singularidades que originam pontes térmicas surgem geralmente em zonas com diferenças entre a área interna e a área externa, zonas de alteração de espessuras de elementos e zonas de transição entre materiais com diferentes resistências térmicas. Assim é frequente considerar as seguintes pontes térmicas:

- ligações entre fachadas e pavimentos, coberturas e varandas;
- ligações entre duas paredes verticais;
- ligações entre fachadas e padieiras, ombreiras e peitoris;
- ligações entre fachadas e caixas de estore.

O fluxo de calor através de pontes térmicas lineares depende da diferença entre as temperaturas interior e exterior e do coeficiente de transmissão linear, que representa o fluxo de calor que atravessa um metro linear da ponte térmica para uma determinada diferença de temperaturas, e cujos valores para os casos mais comuns podem ser encontrados em tabelas. Isto permite determinar o fluxo das trocas de calor através de pontes térmicas em situação de regime permanente para uma dada diferença de temperaturas, através de uma expressão do tipo:

$$Q_{pt} = \psi_{pt} \cdot B \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (2)$$

em que:

Q_{pt} é o fluxo de calor através da ponte térmica (W)

ψ_{pt} é o coeficiente da transmissão linear da ponte térmica (W/m°C)

B é o desenvolvimento linear da ponte térmica (m)

Trocas de calor devido à renovação de ar

As trocas térmicas por renovação de ar, seja ela devido a infiltrações ou obtida através de ventilação natural ou com auxílio de meios mecânicos, resultam da substituição do ar interior por ar exterior a uma temperatura diferente, o que resulta em perda de calor de a temperatura exterior for inferior à temperatura interior (situação mais frequente), e em ganhos térmicos no caso contrário. As trocas de calor dependem assim da taxa de renovação do ar e da diferença de temperaturas entre o ar exterior e interior e são normalmente calculadas através da equação (2), que se apresenta de seguida.

$$Q_{ra} = \rho \cdot C_p \cdot R_{ph} \cdot V (\theta_i - \theta_e) / 3600 \quad (3)$$

em que:

Q_{ra} é o fluxo de calor resultante da renovação de ar (W)

ρ é a massa volúmica do ar (kg/m³)

C_p é o calor específico do ar (J/kg°C)

R_{ph} taxa horária de renovação de ar (valor nominal por hora)

V volume do espaço interior (m³)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados

Os ganhos solares têm origem, tal como o nome indica, na radiação solar que incide sobre os edifícios, podendo esta ser direta difusa ou refletida. Uma vez que a influência da radiação incidente nos elementos da envolvente opaca é contabilizada na parcela dedicada às trocas de calor pelas zonas correntes, resta apenas contabilizar os ganhos solares que penetram nos edifícios através dos vãos envidraçados. Para tal, é comum utilizar o fator solar (g_{\perp}) para caracterizar a relação entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado e a radiação solar incidente na direção normal ao envidraçado. Desta forma, torna-se possível calcular os ganhos solares transmitidos através de um vão envidraçado recorrendo a uma expressão do tipo:

$$Q_s = I \cdot X \cdot A_s \quad (4)$$

em que:

- Q_s** é o fluxo de calor transmitido pelo vão envidraçado (W)
- I** é o valor da radiação solar incidente numa superfície vertical de área unitária orientada a sul (W/m^2)
- X** é o fator de orientação do vão envidraçado
- A_s** é a área efetiva do vão envidraçado (m^2), afetada do fator solar da fração envidraçada

Ganhos internos

Os ganhos internos são ganhos próprios dos edifícios inerentes à sua ocupação e funcionamento. Este tipo de ganhos tem origem no metabolismo dos ocupantes e no calor dissipado pelos sistemas e equipamentos, onde se inclui a iluminação, os eletrodomésticos, o material informático, o fogão, etc. A determinação deste tipo de ganhos é uma operação complicada, uma vez que o calor emitido pelos equipamentos varia bastante de caso para caso e é dependente do perfil de utilização. Por este motivo, é normal atribuir valores médios por unidade de área em função do tipo de edifícios. A tabela 2.1 reproduz os valores dos ganhos térmicos internos médios (q_i) recomendados pelo RCCTE para os tipos de edifícios mais correntes.

Tabela 2.1 - Ganhos internos médios por unidade de área útil de pavimento

Tipo de edifício	q_i (W/m ²)
Residencial	4
Serviços dos tipos: escritórios, comércio, restauração, consultórios, serviços de saúde com internamento, etc	7
Hotéis	4
Outros edifícios com pequena carga de ocupação	2

O balanço energético resultante das perdas e ganhos térmicos aqui apresentados permite determinar a quantidade de energia necessária para manter a temperatura interior de um edifício dentro do intervalo de conforto, em regime permanente, ou seja com base em temperaturas médias constantes. De seguida é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre o conceito de inércia térmica de edifícios e seu contributo para o conforto térmico, cujo princípio melhor se explica no âmbito de uma análise dinâmica, mais condizente com a característica instacionária das relações térmicas entre o interior e exterior de edifícios.

2.2. Inércia térmica

A inércia térmica dos edifícios, tal como apresentado na introdução deste documento, é uma propriedade intrínseca dos materiais, que se traduz pela capacidade de absorver e libertar calor do ambiente envolvente, que é apontada por vários estudos e exemplos como uma característica, que se corretamente explorada, pode ser utilizada para reduzir a amplitude das oscilações dos valores das temperaturas no interior de edifícios, contribuindo assim para a minimização dos consumos energéticos na climatização de edifícios, e consequentes reduções de custos e emissões de CO₂.

Em edifícios, a massa térmica encontra-se maioritariamente em elementos com uma significativa área de exposição ao ambiente interior, com uma resistência térmica superficial reduzida (i.e. revestidos com materiais com pouca capacidade isolante), caracterizados por um valor de calor específico alto, (Al-Sanea, 2012). Assim, as paredes (de alvenaria) mas sobretudo as lajes (em especial as lajes maciças de betão armado) são por norma os elementos dos edifícios com maior inércia térmica.

O princípio de funcionamento da inércia térmica pode ser comparado ao de uma bateria térmica com capacidade para acumular e libertar calor de e para o ambiente interior, conforme a diferença de temperaturas verificada:

Em períodos quentes (Figura 2.2) em que as condições climatéricas impõem temperaturas internas mais altas durante o dia, o efeito da inércia térmica traduz-se pela transmissão de calor do ambiente interior dos edifícios para os seus elementos a temperaturas inferiores (por convecção e condução) e também pela absorção de parte dos ganhos devido à radiação solar, o que resulta num abaixamento da temperatura interior. Quando as temperaturas exteriores começam a descer, normalmente ao final do dia, o fluxo de calor inverte-se, e a carga térmica armazenada nos elementos é devolvida ao ambiente interior devendo ser posteriormente conduzida para o exterior, restaurando assim a capacidade de armazenamento de calor para o dia seguinte (Kolokotroni, 1998.).

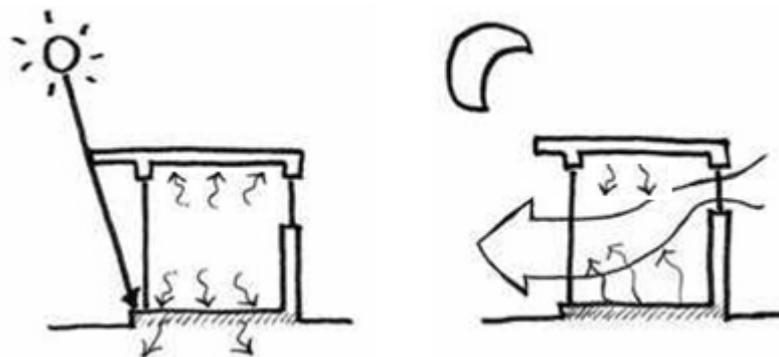


Figura 2.2 - Efeitos da inércia térmica no verão

Fonte: Blog Projeto casa fresca (<http://liselongoblog.tumblr.com/post/492508046/projeto-casa-fresca-parte-i>, acessado em agosto de 2012)

Em períodos mais frios (Figura 2.3), como o Inverno, os elementos com elevada inércia térmica oferecem a capacidade de armazenar calor com origem em ganhos internos e na radiação solar que penetra no interior dos edifícios durante o dia, para o libertar durante a noite, quando as temperaturas interiores são mais baixas, o que potencialmente resulta em reduções das necessidades de aquecimento (Ip e Miller, 2009).

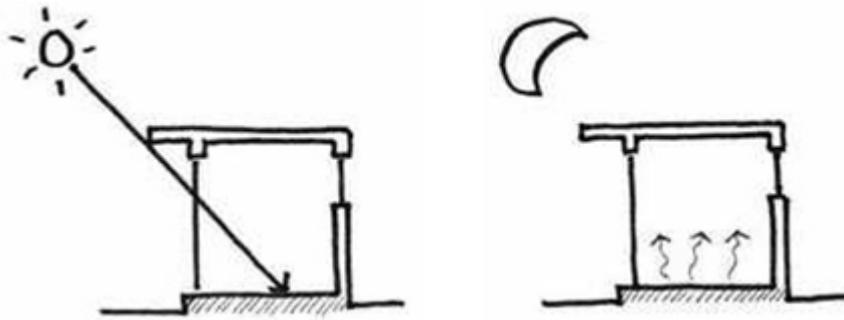


Figura 2.3 - Efeitos da inércia térmica no inverno

Fonte: Blog Projeto casa fresca (<http://liselongoblog.tumblr.com/post/492508046/projeto-casa-fresca-parte-i>, acedido em agosto de 2012)

Desta forma, os edifícios com maior inércia térmica tendem a ter variações das suas temperaturas internas mais lentas que os edifícios de inércia térmica inferior, e com uma amplitude inferior de resposta à oscilação das temperaturas exteriores e ganhos térmicos solares (Barnard, 1995). Este facto explica a razão pela qual no verão, no caso de edifícios com elevada inércia térmica, a temperatura máxima no interior dos edifícios é atingida perto do final da tarde e não no momento em que se atinge a temperatura máxima diária, que normalmente é atingido ao início da tarde. Surgem então dois conceitos associados à inércia térmica de edifícios: o amortecimento da onda de calor, que representa a diferença entre a temperatura máxima exterior e a temperatura máxima atingida no interior, e o desfasamento da onda, que mede a diferença de tempo entre os máximos das temperaturas exterior e interior, e que demonstra a velocidade com que o edifício varia de temperatura, como ilustrado na figura 2.4.

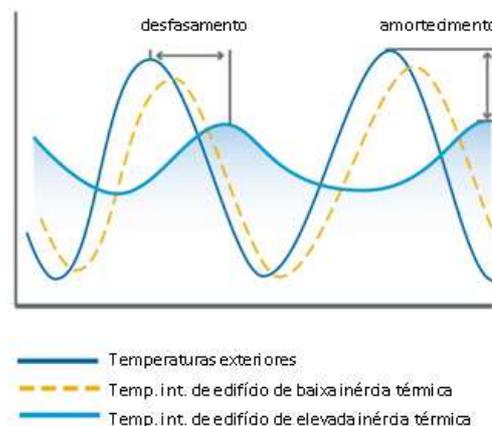


Figura 2.4 - Desfasamento e amortecimento devido à inércia térmica

Fonte: www.new4old.eu/guidelines/D3_Part2_H2.html ; acedido em junho de 2012

No entanto, existem algumas situações em que os benefícios da inércia deixam de se fazer sentir, podendo até originar situações desfavoráveis em termos de conforto térmico. Se ocorrerem longos períodos com temperaturas muito quentes ou se as condições não permitirem a libertação durante a noite do calor acumulado durante o dia, os elementos de elevada inércia térmica deixam de ter capacidade para acumular mais calor, da mesma forma que uma barragem cheia deixa de ter capacidade para armazenar mais água. Isto pode resultar num sobreaquecimento da ambiente interior e provocar aumentos das necessidades de arrefecimento (Zhu et. al.; 2009). Por outro lado, no caso de edifícios com utilização esporádica ou em situações em que a temperatura interior desça abaixo dos níveis de conforto de referência, a inércia térmica resulta num aquecimento mais lento e energeticamente mais exigente por ser necessário aquecer tanto o ar interior como os elementos do edifício (Willis et. al., 1995).

Consequentemente, para se conseguir maximizar os benefícios da ação da inércia térmica e evitar os prejuízos é necessário adotar determinadas estratégias e soluções de forma a otimizar o seu contributo para o conforto térmico.

A falta de compreensão dos efeitos e dos benefícios da inércia térmica de edifícios tem levado a que essa característica seja pouco explorada, forçando em alguns casos à instalação de equipamentos de ar condicionado, responsáveis por consumos energéticos que de outra forma seriam desnecessários. No entanto, vários têm sido os estudos que apontam para os benefícios enunciados neste texto, e que através do efeito de inércia térmica conseguiram diminuir as necessidades energéticas para a climatização de edifícios.

2.3. Legislação

Em Portugal, a legislação que regula a eficiência energética dos edifícios é constituída pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) disposto no Decreto-Lei nº 78/2006, pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) disposto no Decreto-Lei nº 79/2006 e pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) disposto no Decreto-Lei nº 80/2006). Estes documentos transpõem para o território nacional a política definida pelo Parlamento Europeu e do Conselho na diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios de 2002, revista no ano de 2010 pela Diretiva 2010/31/EU. Para efeitos deste estudo, o RCCTE é dos três documentos aquele que apresenta maior interesse, devido ao seu conteúdo e âmbito de aplicação, pelo que de seguida se apresenta uma breve análise

O RCCTE é um regulamento aplicável a todas as frações autónomas dos novos edifícios de habitação e a todos os novos edifícios de serviços sem sistema de climatização

centralizados, com exceção das situações previstas no artigo 9º do referido DL, e ainda a todos os edifícios existentes que venham a sofrer grandes remodelações ou alterações. Na prática o regulamento consiste numa metodologia de cálculo das necessidades energéticas de edifícios, de forma a comprovar que esses valores não ultrapassem os limites máximos definidos pelo regulamento, para cada zona climática do território nacional (Figura 2.5), impondo ainda um conjunto de requisitos relativamente às características térmicas de alguns elementos.

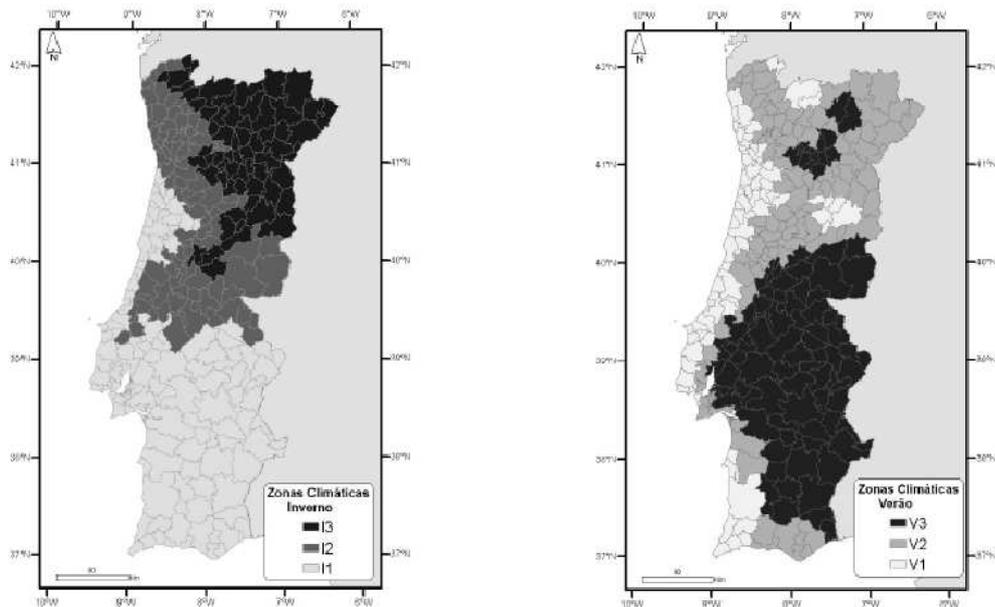


Figura 2.5 - Zonas climáticas de inverno e verão

A metodologia de cálculo das necessidades energéticas divide-se em necessidades de aquecimento e necessidades de arrefecimento e ainda necessidades energéticas para águas quentes sanitárias (AQS), embora estas não pertençam ao âmbito do presente estudo. Simplificadamente a metodologia consiste em calcular, em regime permanente, as necessidades nominais de energia útil de climatização; isto é, a quantidade de energia por metro quadrado que uma fração autónoma precisa para manter a temperatura interior dentro de um intervalo de conforto, maior que 20 °C na estação de aquecimento e inferior a 25 °C durante a estação de arrefecimento, com uma taxa de renovação de ar de 0,6 renovações por hora.

Para a situação de inverno, o cálculo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) consiste em calcular o balanço entre as perdas térmicas e os ganhos úteis durante o período, para as condições de referência. Desta forma o N_{ic} pode ser calculado através da soma algébrica de três parcelas: perdas de calor por condução através da envolvente (Q_t) e perdas de calor devido à renovação de ar (Q_v), calculadas através de expressões do tipo das apresentadas no subcapítulo dedicado ao comportamento térmico de

edifícios, e ainda os ganhos de calor úteis (Q_{gu}), que serão analisados mais em pormenor mais adiante.

$$N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu})/A_p \quad (5)$$

em que:

N_{ic} são as necessidades nominais de aquecimento no período (kWh/m²)

Q_t são as perdas por condução através da envolvente no período (kWh)

Q_v são as perdas devido à renovação do ar no período (kWh)

Q_{gu} são os ganhos úteis no período (kWh)

A_p é a área útil de pavimento (m²)

onde Q_{gu} (ganhos térmicos úteis) representa a parte dos ganhos térmicos brutos que não provoca sobreaquecimento, e que se determinam segundo a seguinte expressão:

$$Q_{gu} = \eta Q_g = \eta (Q_i + Q_s) \quad (6)$$

em que:

Q_{gu} são os ganhos úteis no período (kWh)

η é o fator de utilização de ganhos térmicos

Q_g são os ganhos térmicos brutos (kWh)

Q_i são os ganhos internos (kWh)

Q_s são os ganhos solares (kWh)

Em relação à situação de verão, o RCCTE preconiza o cálculo das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) através da quantificação dos ganhos não úteis, responsáveis pelo sobreaquecimento do espaço, que equivalem à energia necessária fornecer para manter a temperatura interior dentro dos valores de referência. Para tal o RCCTE prevê o cálculo dos ganhos totais brutos (Q_g) (compostos pela soma das trocas pela envolvente opaca e envidraçados, ganhos internos e perdas por ventilação), afetados do fator de utilização dos ganhos (η), como indica a seguinte equação.

$$N_{vc} = Q_g \cdot (1 - \eta)/A_p \quad (7)$$

em que:

N_{vc} são as necessidades nominais de arrefecimento no período (kWh/m²)

Q_g são os ganhos totais brutos no período (kWh)

η é o fator de utilização dos ganhos térmicos

A_p é a área útil de pavimento (m²)

Apesar de a metodologia apresentada no RCCTE basear-se numa avaliação em regime permanente, o que não teria em conta os efeitos dinâmicos da inércia térmica, o regulamento prevê um artifício de cálculo que permite estimar esses efeitos através do fator de utilização dos ganhos térmicos (η). Para o efeito o RCCTE classifica a inércia térmica das frações autónomas em fraca, média e forte, conforme a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento (I_t), como indicado na tabela 2.2, e que se calcula segundo a seguinte expressão.

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \quad (8)$$

em que:

I_t é a massa superficial útil por m² de área de pavimento (kg/m²)

M_{si} é a massa superficial útil do elemento i (kg/m²) - limitada a 150 kg/m² e a 300 kg/m², respetivamente para elementos exteriores e interiores, sendo que nos casos de resistência térmica (R) dos revestimentos compreendida entre 0,14 e 0,3 m²°C/W a massa M_i é reduzida a metade, e se R for superior a 0,3 m²°C/W, considera-se a massa nula

S_i é a área da superfície interior do elemento i (m²)

Tabela 2.2 - Classes de inércia térmica interior

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

Por sua vez, o fator de utilização dos ganhos térmicos é calculado em função da inércia térmica da fração e da relação entre os ganhos totais brutos e as perdas térmicas totais, como indicado pela seguinte expressão.

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad \text{se} \quad \gamma \neq 1$$

$$\eta = \frac{a}{a+1} \quad \text{se} \quad \gamma = 1 \quad (9)$$

em que 'a' é igual a:

- 1,8 - edifícios com inércia térmica fraca
- 2,6 - edifícios com inércia térmica média
- 4,2 - edifícios com inércia térmica forte

e

$$\gamma = \frac{\text{ganhos térmicos brutos}}{\text{nec.brutas de aquecimento}} = \frac{Q_g}{Q_t+Q_v} \quad (10)$$

Na prática, este método de cálculo prevê um fator de utilização de ganhos solares maior para frações de inércia térmica mais elevada (Figura 2.6), o que em última análise resulta em estimativas de necessidades de aquecimento e arrefecimento inferiores em edifícios ou frações com maior inércia térmica, comparativamente com edifícios ou frações de inércia térmica inferior.

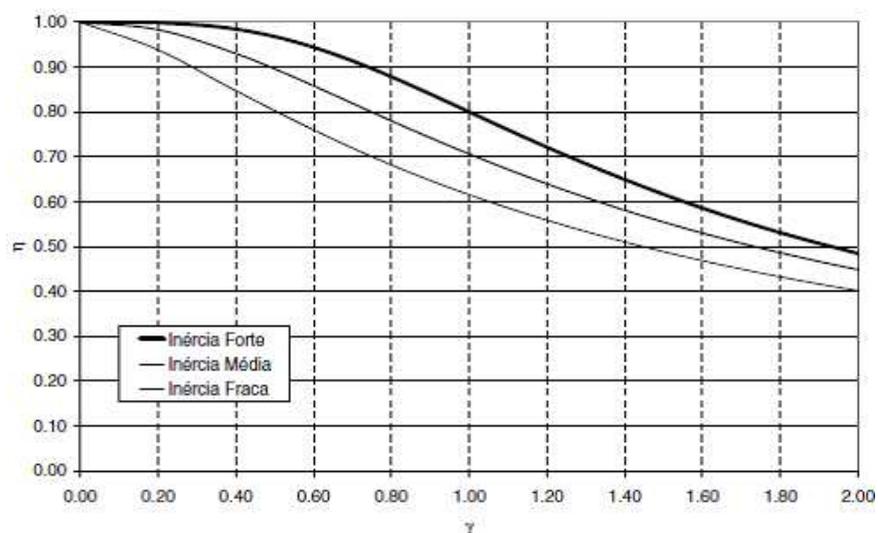


Figura 2.6 - Valores do fator de utilização de ganhos térmicos

2.4. Exemplos da influência da inércia no comportamento térmico de edifícios

Neste subcapítulo são apresentados dois casos de estudo de dois edifícios onde foi adotada uma estratégia com recurso à inércia térmica dos edifícios de forma a reduzir os consumos energéticos relativos à climatização e conseqüentemente os respetivos custos e emissões de CO₂ associadas.

Caso de estudo 1 – *Walton Hall*, Reino Unido

(BRECSU, 1997)

O edifício administrativo da *Open University*, situado em *Milton Keynes* a norte de Londres, foi construído na década de 60. O edifício original é composto por dois pisos, em estrutura de betão armado com alvenaria de tijolos maciços e grandes vãos envidraçados de pano simples. Poucos anos depois da construção do edifício, foi acrescentado um quarto piso em estrutura de aço leve.



Figura 2.7 - Edifício Walton Hall

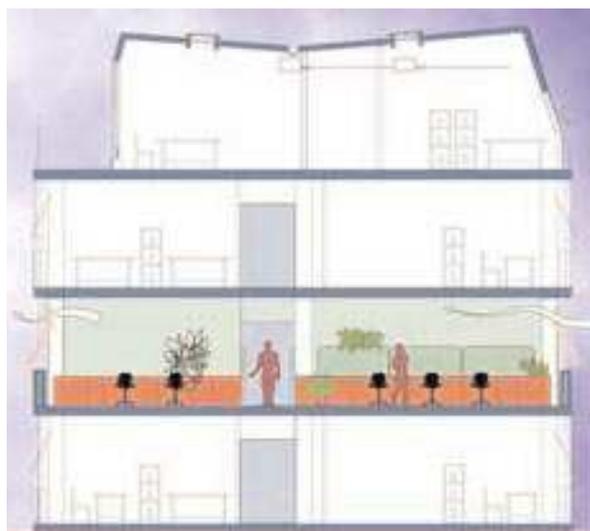


Figura 2.8 - Corte esquemático do edifício

Ao longo da vida do edifício a densidade de ocupação e os equipamentos informáticos aumentaram o que levou ao aumento dos ganhos internos ao ponto de os utilizadores começarem a queixar-se de desconforto devido a temperaturas elevadas durante o Verão. Na tentativa de resolver este problema, a direção da Universidade contratou uma empresa de consultadoria com o objetivo de encontrar uma forma de evitar o sobreaquecimento do edifício sem recorrer ao uso de ar condicionado, evitando assim os custos de instalação, operação e manutenção e respeitando o desejo dos trabalhadores do edifício e a política ambiental da Universidade.

Através de simulações conduzidas em programas de computador, a equipa de técnicos concluiu que nos pisos inferiores seria possível evitar o sobreaquecimento do espaço através de ventilação natural se fosse adotada uma estratégia de aproveitamento da elevada inércia térmica das lajes e das paredes do edifício, desde que fossem tomadas algumas medidas para otimizar esta solução. Assim, a Universidade resolveu testar as medidas propostas no piso_1 que passaram pela redução da área envidraçada com a substituição de três em cada sete janelas por painéis tipo com isolamento térmico tipo *sandwich*, instalação de novas janelas de vidros duplos com persianas venezianas incorporadas no interior e com uma tipologia basculante para favorecer ventilação e a circulação de ar junto ao teto. Foi também proposto a remoção do revestimento isolante do teto de forma a expor a massa térmica da laje e promover as trocas de calor com ar. Para além disso, foram também adotadas medidas para reduzir os ganhos internos tais como a melhoria da eficiência da iluminação, do equipamento informático e a adoção de fotocopiadoras e impressoras partilhadas localizadas em compartimento próprio com extração de ar para garantir a qualidade do ar.

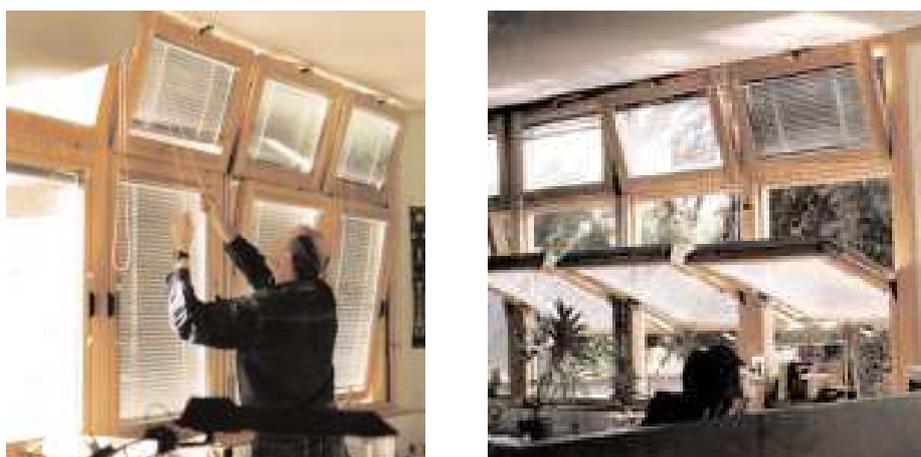


Figura 2.9 - Janelas basculantes com sistema de sombreamento integrado

No caso do estúdio, os técnicos concluíram que, devido à fraca inércia térmica da cobertura e aos maiores ganhos devido à radiação solar, a ventilação natural seria insuficiente pelo que o recurso a um sistema de ar condicionado seria inevitável.

A figura 2.10 apresenta uma comparação das temperaturas obtidas no piso_2 (intervencionado) piso_3 (inalterado) e estúdio (inércia térmica leve), durante um período de quatro dias, incluindo dois dias úteis (ar condicionado ligado no piso_3) e dois dias de fim de semana (sem climatização em todos os pisos). Os resultados registados permitem identificar o seguinte:

- Apesar dos maiores ganhos internos, as temperaturas registadas durante o dia no piso_2 foram cerca de 2 °C inferiores em relação às temperaturas registadas no piso_3;
- A temperatura máxima registada no piso_2 neste período nunca ultrapassou a temperatura exterior máxima;
- Nos períodos da noite e durante o fim-de-semana o piso_1 apresentou a temperatura menos elevada dos três pisos analisados;

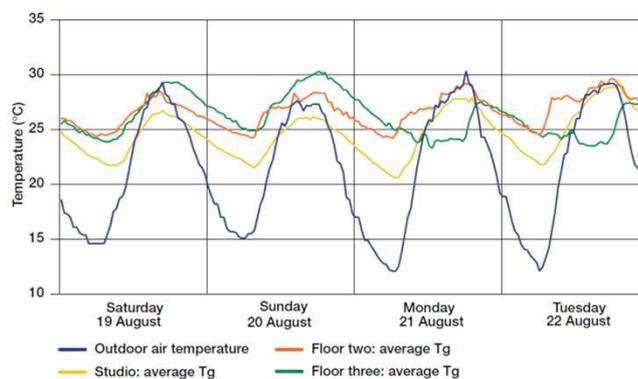


Figura 2.10 - Temperaturas exterior, interior e da laje do teto num período de verão

Estes resultados, em conjunto com os resultados de inquéritos realizados aos utilizadores do edifício antes e depois da remodelação, permitem concluir que a estratégia de ventilação natural com aproveitamento da inércia térmica adotada no piso_2, permitiu melhorar o conforto dos ocupantes sem o recurso a sistemas de ar condicionado, evitando assim os custos e as emissões de CO₂ associados. O estudo aponta ainda para uma poupança total a rondar os 150 kWh/m² por ano, onde 30 a 45 kWh/m²/ano seriam a energia despendida caso se tivesse optado por um sistema de ar condicionado para o piso_1. O estudo aponta que esta redução das necessidades energéticas teve equivalência em termos financeiros a uma poupança de £2,63/m²/ano e em termos ambientais à não emissão de 53 kg/m² de CO₂ por ano.

Caso de estudo 2 – *Portland Building*, Reino Unido

(Kolokotroni et. al., 2001)

O segundo caso de estudo em análise é referente ao edifício Portland, localizado em Portsmouth, Inglaterra, propriedade da *Portsmouth University*, construído em 1996 para albergar a *Faculty of the Built Environment* com o requisito de garantir as condições de conforto sem o recurso a equipamentos de ar condicionado.

O edifício em questão, em forma de 'E', é um edifício de quatro pisos, em que os três primeiros pisos são caracterizados por possuírem elementos de elevada inércia térmica exposta (e.g. lajes de betão armado, paredes de alvenaria de tijolo), e o último piso é caracterizado por um tipo de construção mais "leve", com maiores áreas envidraçadas e uma cobertura em estrutura de madeira. A renovação do ar é garantida por ventilação natural através de ventilação simples ou cruzada em todo o edifício. Para além disso, nos três primeiros pisos, a renovação de ar é também garantida pelo efeito chaminé proporcionado pelas torres de ventilação formadas pelos acessos verticais do edifício, e que se encontram providas com equipamento de ventilação mecânica para maximizar o arrefecimento nos períodos mais quentes do ano.

O estudo em análise foi elaborado com base nos registos efetuados pelos projetistas do edifício, para avaliarem as condições de conforto no verão, proporcionadas pela estratégia de ventilação, adotada de forma a potenciar os benefícios da inércia térmica do edifício e assim evitar o recurso a bombas de calor para arrefecimento.



Figura 2.11 - Edifício Portland

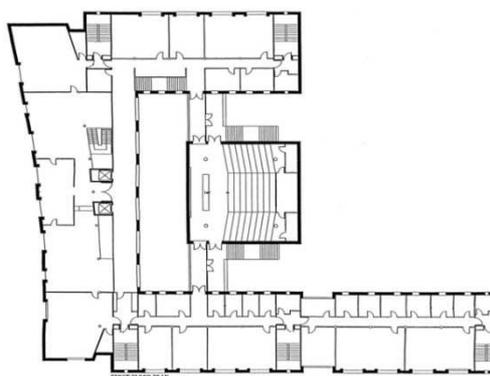


Figura 2.12 - Planta do edifício

Para o efeito, foram monitorizadas as temperaturas através de sensores de temperatura instalados em diversos pontos da ala sul do edifício, em escritórios, salas de aula, corredores e nas torres de ventilação. Os parâmetros internos monitorizados foram as temperaturas do ar interior e das lajes de piso. Para além disso foram também registos os seguintes parâmetros

exteriores: temperatura do ar, humidade relativa, direção e velocidade do vento. A monitorização foi realizada durante um período de três meses, no verão de 1997. De notar que sendo este um edifício académico a sua ocupação neste período foi relativamente baixa, pelo que os resultados obtidos não contemplam os ganhos internos provenientes de uma ocupação superior, típica de um período de plena atividade.

Os resultados alcançados (Figura 2.13) demonstram que as temperaturas das lajes mantêm-se abaixo da temperatura do ar interior cerca de 2 °C, e que ambas as temperaturas tendem a seguir a temperatura exterior, embora com um desfasamento de algumas horas e com amplitudes muito inferiores, o que confirma o efeito de inércia térmica. Os resultados demonstram também que a temperatura interior nunca excedeu os 25 °C no período de monitorização, o que evidencia que as condições de conforto térmico a nível de temperatura conseguem ser garantidas por ventilação quase exclusivamente natural, cumprindo assim o requisito de evitar o recurso a bombas de calor para arrefecimento.

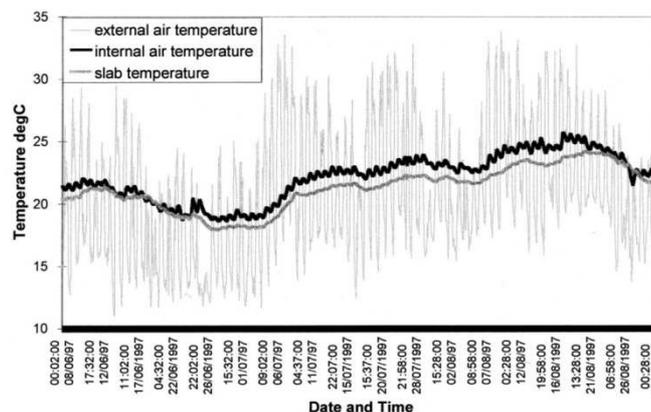


Figura 2.13 - Temperaturas exterior, interior e da laje num período de verão

Os gráficos seguintes (Figuras 2.14, 2.15 e 2.16) apresentam as temperaturas registadas para o ar exterior, ar interior e as temperaturas laje, em três períodos de cinco dias consecutivos, para um gabinete do primeiro piso e um gabinete do último piso. O gráfico da figura 2.14 representa um período de verão excepcionalmente quente, com temperaturas máximas exteriores superiores a 30 °C em todos os cinco dias. O gráfico da figura 2.15 caracteriza um período típico de verão, com temperaturas máximas entre 24 °C e 30 °C. Por sua vez, o gráfico da figura 2.16 representa um período relativamente frio para a estação de verão, com temperaturas máximas que não ultrapassaram os 22 °C durante o período.

Os resultados obtidos demonstram que as temperaturas registadas no gabinete do primeiro piso, de maior inércia térmica, têm oscilações de amplitudes inferiores às temperaturas registadas no gabinete do último piso. Para além disso, é evidente que as temperaturas

registadas em ambos os gabinetes acompanham as variações da temperatura exterior, desfasadas de algumas horas, e que esse desfasamento é maior no gabinete de maior inércia térmica

Durante o período quente (Figura 2.14), apesar das condições climatéricas, as temperaturas interiores do primeiro piso mantiveram-se relativamente estáveis, tendo apresentado um amortecimento de cerca de 8 °C no caso da temperatura do ar interior e de 10 °C no caso da laje. No caso do gabinete do último, as temperaturas registadas apresentaram valores superiores, tendo ultrapassado os 28 °C em todos os dias; o que se justifica em parte pela maior quantidade de ganhos térmicos devido à radiação solar mas também devido ao menor nível de inércia térmica. Outro facto a realçar é o aumento da temperatura da laje do gabinete do primeiro piso ao longo dos cinco dias. Isto evidencia que o arrefecimento noturno no período foi insuficiente para libertar todo o calor acumulado durante o dia, e que se as condições climáticas continuassem anormalmente quentes poderia resultar em sobreaquecimento do espaço interior e no desconforto dos seus ocupantes.

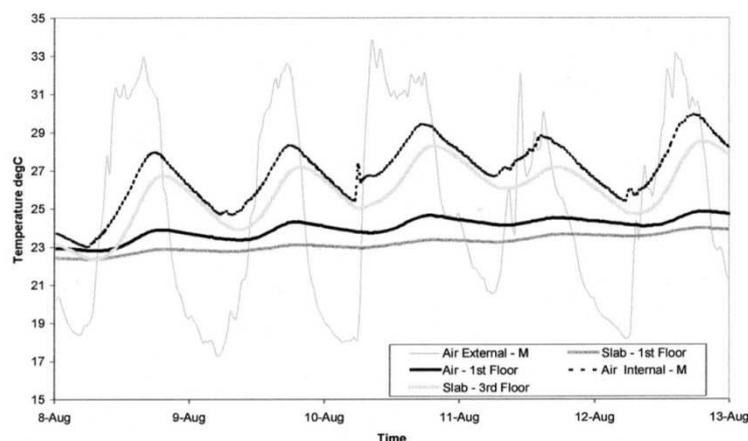


Figura 2.14 - Temperaturas interiores, das lajes e exterior num período quente

A figura 2.15 mostra as temperaturas registadas num período de clima típico para a situação de verão em Portsmouth. Os resultados aqui apresentados voltam a evidenciar que as temperaturas registadas no gabinete do primeiro piso apresentam amplitudes de oscilação consideravelmente inferiores às do gabinete do último piso. Este facto torna-se ainda mais evidente nos últimos dois dias deste período, com temperaturas exteriores mais baixas, que resultaram em temperaturas interiores no último piso abaixo dos 20 °C, enquanto do primeiro piso as temperaturas mantiveram-se aproximadamente constantes e acima desse valor, dentro dos parâmetros de conforto.

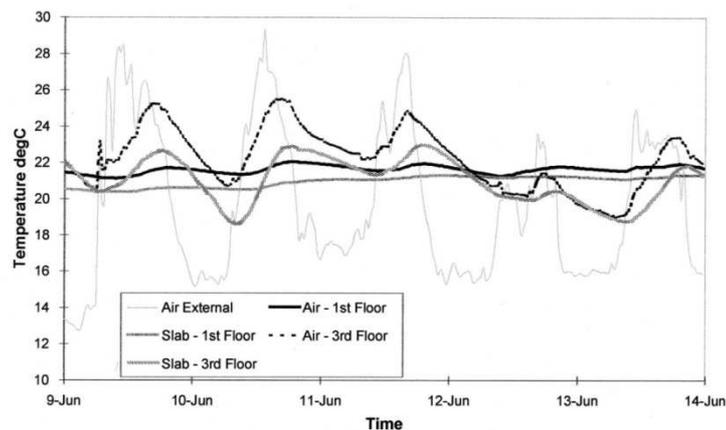


Figura 2.15 - Temperaturas interiores, das lajes e do exterior num período típico de verão

Durante um período atipicamente frio, representado na figura 2.16, os resultados alcançados voltam a demonstrar menores variações de temperatura para o caso do gabinete do primeiro piso, de maior inércia térmica. No entanto, para este caso, a combinação da inércia térmica e a estratégia de ventilação noturna resultaram neste período em temperaturas interiores de cerca de 19 graus, o que é abaixo dos níveis de conforto. Contudo em períodos de plena atividade com um nível de ocupação maior é de esperar que estes valores subam devido a uma maior carga de ganhos térmicos internos.

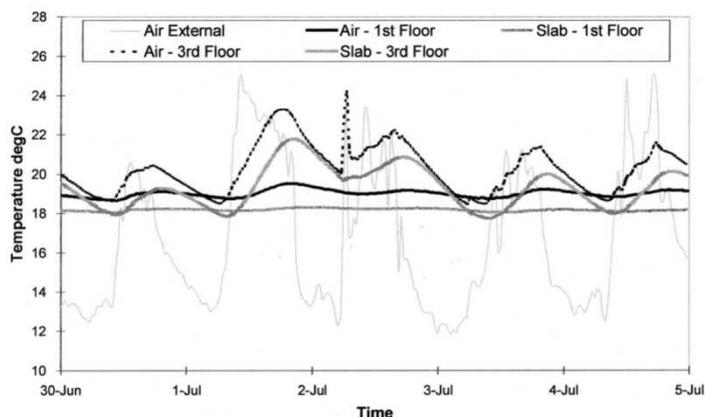


Figura 2.16 - Temperaturas interiores, das lajes e exterior num período frio de verão

Adicionalmente, foram ainda realizadas simulações dinâmicas com recurso a *software* informático que apontam para a possibilidade de otimizar a taxa de renovação de ar em função das condições climáticas de modo a evitar ou reduzir as eventuais necessidades de climatização que possam surgir, em particular das necessidades de arrefecimento mesmo em períodos de clima mais adverso.

3. METODOLOGIA

3.1. Método

Neste estudo, o método utilizado para analisar a influência da inércia térmica no desempenho térmico dos edifícios, consistiu em calcular as necessidades de climatização de três modelos idênticos de um edifício de habitação, mas com diferentes classes de inércia térmica (segundo a classificação prevista no RCCTE), para duas localizações distintas de modo a representar dois tipos de condições climáticas, representativas do território nacional.

O cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento dos vários modelos foi realizado através de uma simulação dinâmica com recurso ao programa de software Integrated Environmental Solutions (IES), utilizado em diversos estudos semelhantes (Ip e Miller, 2009). Adicionalmente, de forma a contribuir para uma aplicação prática dos resultados deste estudo, as necessidades de climatização dos vários modelos foram também calculadas através do método preconizado pelo RCCTE, com recurso à folha de cálculo disponibilizada pelo ITeCons (Versão v_3_0_6, de 15 de junho de 2011). Apesar de o método previsto pela regulamentação aplicável se traduzir numa análise em regime permanente, e por isso dificultar a avaliação dos efeitos da inércia térmica, são os resultados obtidos através deste método que definem na prática as opções dos projetistas. Por esta razão considerou-se interessante analisar os efeitos da inércia no desempenho de edifícios previstos pela legislação, e de que forma esta condiciona a sua exploração prática na melhoria da eficiência energética de edifícios.

A escolha das localizações foi realizada com base na representação do território nacional, nos dados e no período de tempo disponível para o estudo. Assim, optou-se por duas localizações com perfis climáticos distintos, uma mais a norte Porto, e outra mais a sul Évora. No entanto, por falta de dados relativamente às condições climáticas de Évora, na análise dinâmica foram utilizados dados referentes à cidade de Sevilha, por ser a localização mais próxima e com características climáticas mais semelhantes, com dados disponíveis para a análise dinâmica através do software IES_VE.

Para diferenciar os três modelos, foram adotadas diferentes tipologias de paredes e lajes para cada um dos modelos, de modo a permitir classificações de inércia térmica dos modelos de fraca, média e forte, de acordo com as indicações do RCCTE. Para tal optou-se por fazer variar a exposição da massa térmica mantendo as outras características constantes, em particular o coeficiente de transmissão térmica dos elementos em contato com o exterior. Este procedimento foi adotado com a intenção de isolar a variável que é a influência da inércia térmica no desempenho energético de edifícios e consequentemente permitir uma análise mais apurada. Assim, para caracterizar diferentes exposições da massa térmica optou-se por fazer variar as seguintes características: localização do isolamento térmico em paredes e lajes da envolvente exterior, e ainda a tipologia das paredes e lajes de piso interiores.

De seguida apresentam-se as características do modelo base e para cada um dos três modelos de classe de diferentes classes de inércia térmica analisados.

3.2. Modelo base

O modelo escolhido para efetuar a análise desde estudo baseia-se numa simplificação do projeto de uma moradia em banda, gentilmente cedido pelo Arquitecto António Borges Abel, por se considerar tratar-se de um tipo de habitação comum, representativo do edificado habitacional português, cujos dados do Eurostat (2009) apontam como responsável pelo consumo de 17,3% do total de energia consumida anualmente no país.

O modelo consiste num edifício com uma área útil de 106,64 m², distribuída de igual forma por dois pisos com um pé direito de 2,7m. A planta de forma retangular tem uma orientação segundo a direção Norte - Sul, sendo edifício ladeado a Este e Oeste por dois edifícios idênticos.

As imagens e tabelas seguintes descrevem as características do modelo e os dados utilizados na realização deste estudo, nomeadamente na construção do modelo digital utilizado na análise dinâmica e na aplicação do método de cálculo preconizado pelo RCCTE.

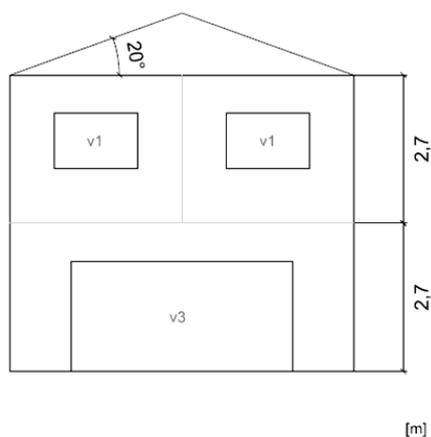


Figura 3.1 - Fachada sul

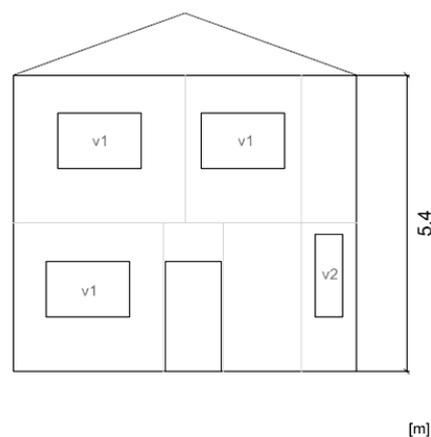


Figura 3.2 - Fachada norte

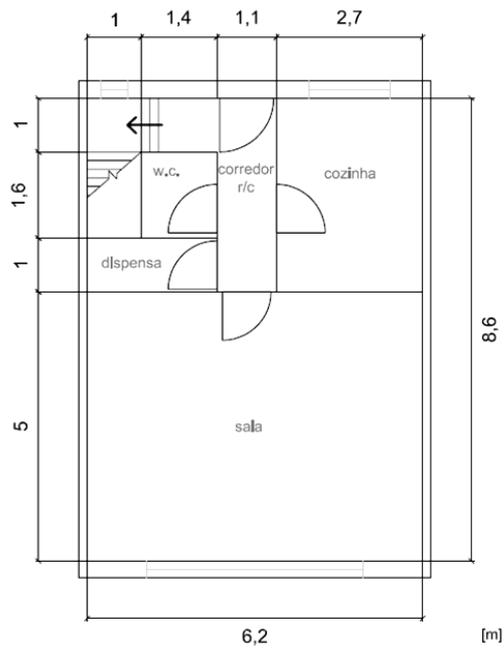


Figura 3.3 - Planta do piso térreo

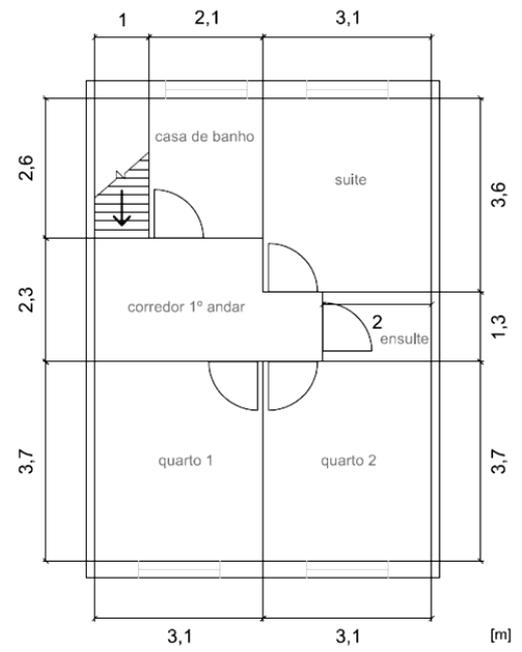


Figura 3.4 - Planta do 1º piso

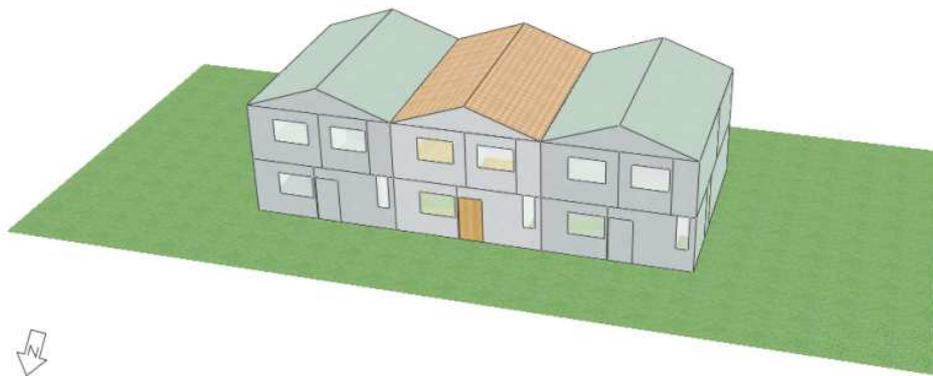


Figura 3.5 - Modelo base, vista norte

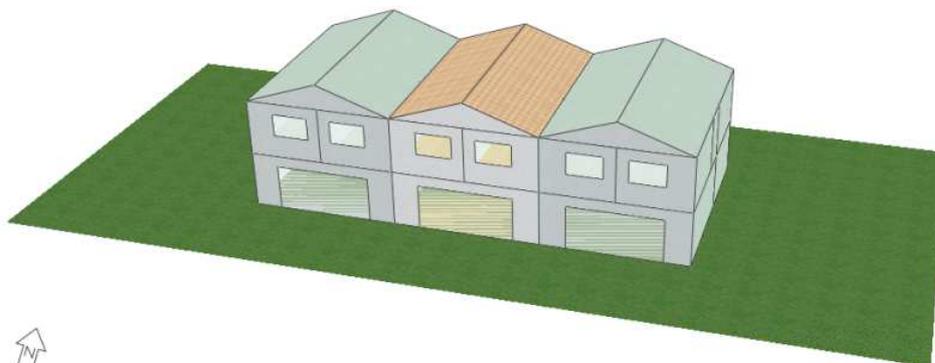


Figura 3.6 - Modelo base, vista sul

Tabela 3.1 - Localização e dados climáticos

Porto	
Localização da fração	Continente
Distância à costa	Superior a 5 km
Concelho	Porto
Local de implantação	Interior de uma zona urbana
Altitude	77 m
Norte (N) ou Sul (S)?	Norte
Dados climáticos	
Zona climática de inverno	2
Graus-dias (°C.dias)	1610
Duração da estação de aquecimento (meses)	6,70
Zona climática de verão	1
Évora	
Localização da fração	Continente
Distância à costa	Superior a 5 km
Concelho	Évora
Local de implantação	Interior de uma zona urbana
Altitude	321 m
Norte (N) ou Sul (S)?	Sul
Dados climáticos	
Zona climática de inverno	1
Graus-dias (°C.dias)	1390
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,70
Zona climática de verão	3

Tabela 3.2 - Caracterização geral

Tipo de edifício	Residencial - unifamiliar
Tipologia da fração	T3
N.º de pisos da fração	2
Área útil de pavimento, Ap	106,64 m ²
Pé-direito médio da fração, Pd	2,70 m

Tabela 3.3 - Ventilação

A ventilação processa-se de igual forma em toda a fracção?	Sim
Tipo de ventilação?	Natural
Cumpre NP 1037-1?	Não
Qual a classe de caixilharia existente?	Classe 1
Caixas de estore?	Não
Existem dispositivos de admissão de ar na fachada?	Não
As portas exteriores estão bem vedadas?	Sim

Tabela 3.4 - Vãos envidraçados exteriores

	V1	V1	V1	V1	V1	V2	V3
Designação	Cozinha	<i>Suite</i>	Casa de banho	Quarto 1	Quarto 2	Escada	Sala
Orientação	Norte	Norte	Norte	Sul	Sul	Norte	Sul
Janela à face?	Não						
Área (m²)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,75	8,00
Tipo de vidro	Duplo incolor						
Fração envidraçada, F_g	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Fator de seletividade angular (aquecimento)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Fator de obstrução, F_s	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
U (W/m².°C)	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
g_{vidro}	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
g_{inverno}	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
g_{100%}	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63

Tabela 3.5 - Piso térreo

Área (m²)	53,32
Udescendente (W/m²K)	0,51

Tabela 3.6 - Elementos em contato com o solo

A fração tem pavimento em contato com o solo?	Sim
Existem paredes em contato com o solo?	Não

Tabela 3.7 - Envoltente opaca exterior

Designação	Orientação	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	Cor da superfície exterior
cozinha	N	5,79	0,55	clara
corredor r/c	N	6,70	0,55	clara
sala	S	8,74	0,55	clara
suite	N	6,87	0,55	clara
casa de banho	N	4,17	0,55	clara
corredor 1º andar	N	2,70	0,55	clara
quarto 1	S	6,87	0,55	clara
quarto 2	S	6,87	0,55	clara
porta exterior	N	2,00	2,16	escura

Tabela 3.8 - Pontes térmicas lineares da envoltente exterior

Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)				
Distância do pavimento ao solo	Espessura da laje térrea (m)	Existe isolamento perimetral sob a laje?	Posição do isolamento na parede?	Comprimento da ponte térmica (m)
> +0,40	0,16	Não	Variável	12,40
Ligação de fachada com pavimentos intermédios				
Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
0,20	Sim	0,32	Variável	12,4
Ligação entre duas paredes verticais				
Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)		
0,30	Variável	10,8		
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril				
É garantido o contacto do isolante térmico da parede com a caixilharia?	Comprimento da ponte térmica (m)			
Sim	47			

Tabela 3.9 - Espaços não úteis

Designação	A_i	A_u	Coefficiente τ
sotão	53,32	56,74	0,90
vizinho esq	46,44	66,96	0,60
vizinho dir	46,44	66,96	0,60

Tabela 3.10 - Envoltente opaca interior

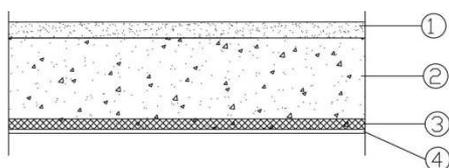
Paredes			
Designação	Espaço não útil adjacente	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)
Par. Int. 1	vizinho dir	46,44	0,61
Par. Int. 2	vizinho esq	46,44	0,61
Cobertura			
Tipo	Espaço não útil adjacente	Área (m ²)	Uascendente (W/m ² .°C)
Inclinada c/ desvão não habitável	sotão	53,32	0,62

Tabela 3.11 - Pontes térmicas lineares da envoltente interior

Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Espaço não útil adjacente	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espessura da laje de esteira/cobertura (m)
Sotão	Variável	29.6	0.20

3.3. Modelo de inércia térmica fraca

Para simular um modelo de inércia térmica fraca, segundo o sistema de classificação do previsto pelo RCCTE, foram adotadas tipologias de elementos construtivos mais leves, colocação do isolamento térmico pelo interior e revestimentos de superfícies com maior resistência térmica, de modo a minimizar as trocas de calor entre elementos e ambiente interior. Assim optou-se por paredes interiores leves formadas por duas placas de gesso cartonado com lã de rocha no interior por razões acústicas, revestimentos de paredes e tetos em estuque, e no piso 1, por uma laje aligeirada com perfis de aço enformado a frio e preenchida com lã de rocha por razões acústicas. As tipologias de elementos adotadas tanto para a análise dinâmica como para o cálculo segundo o método do RCCTE assim como as suas características térmicas são ilustradas pelas figuras e tabelas que se seguem. No final do subcapítulo é ainda apresentado o cálculo da classe da inércia térmica do modelo segundo a método previsto no RCCTE.



1. Betonilha de regularização
2. Laje maciça de betão armado
3. Isolamento térmico (XPS)
4. Reboco de cimento

Figura 3.7 - Laje de esteira (IT fraca)

Tabela 3.12 - Laje de esteira (IT fraca)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Laje maciça de betão armado	0,20	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
4	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,10 m ² K/W R _{int} = 0,10 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,62 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

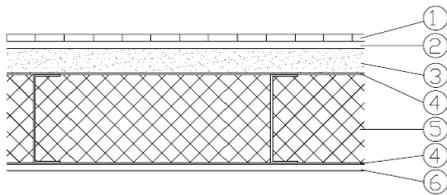


Figura 3.8 - Laje do piso 1 (IT fraca)

1. Soalho de madeira
2. Caixa de ar
3. Betonilha armada
4. Chapa de aço galvanizado
5. Lã de rocha
6. Gesso cartonado

Tabela 3.13- Laje do piso 1 (IT fraca)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Soalho de madeira	0,0075	0,14 ⁽¹⁾	419 ⁽¹⁾	2720 ⁽²⁾
2	Caixa-de-ar	0,01	<i>Resist. térmica 0.18 m²KW⁽¹⁾</i>		
3	Betonilha armada	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
4	Chapa de aço galvanizado	0,004	50 ⁽¹⁾	7800 ⁽¹⁾	480 ⁽²⁾
5	Lã de rocha	0,20	0,04 ⁽¹⁾	35 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
6	Chapa de aço galvanizado	0,004	50 ⁽¹⁾	7800 ⁽¹⁾	480 ⁽²⁾
	Caixa-de-ar	0,01	<i>Resist. térmica 0.18 m²KW⁽¹⁾</i>		
7	Gesso cartonado	0,014	0,25 ⁽¹⁾	800 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,10 m ² K/W R _{int} = 0,10 m ² K/W Cor média			U-Value = 0,18 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

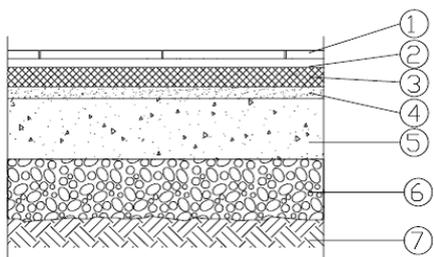


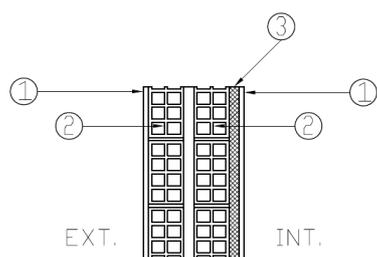
Figura 3.9 - Laje do piso térreo (IT fraca)

1. Pavimento cerâmico
2. Argamassa de assentamento
3. Isolante térmico (XPS)
4. Betonilha de regularização
5. Laje de ensoleiramento em betão armado
6. Brita
7. Terreno natural

Tabela 3.14 - Laje do piso térreo (IT fraca)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Pavimento cerâmico	0,0075	1,30 ⁽¹⁾	2300 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
2	Argamassa de assentamento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
4	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
5	Laje maciça de betão armado	0,16	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
6	Brita	0,30	1,40 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	850 ⁽²⁾
R _{int} = 0,17 m ² K/W Cor média			U-Value = 0,56 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



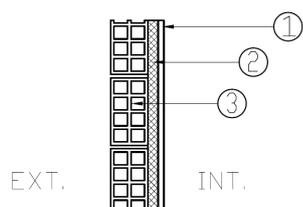
1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico 11
3. Isolamento térmico (XPS)

Figura 3.10 - Parede exterior (IT fraca)

Tabela 3.15 - Parede exterior (IT fraca)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W)$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
3	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W)$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
4	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	25 ⁽¹⁾	1380 ⁽²⁾
5	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,04 m ² K/W R _{int} = 0,13 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,55 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

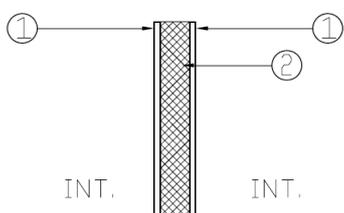


1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico
3. Isolamento térmico (XPS)

Figura 3.11 - Parede espaço não útil (IT fraca)

Tabela 3.16 - Parede espaço não útil (IT fraca)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
3	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W) ^{(1)}$	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,13 m ² K/W R _{int} = 0,13 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,61 W/m²K		
Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE					



1. Gesso cartonado
2. Lã de rocha

Figura 3.12 - Parede interior (IT fraca)

Tabela 3.17 - Parede interior (IT fraca)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Gesso cartonado	0,014	0,25 ⁽¹⁾	800 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
2	Lã de rocha	0,09	0,04 ⁽¹⁾	35 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	Gesso cartonado	0,014	0,25 ⁽¹⁾	800 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,13 m ² K/W R _{int} = 0,13 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,38 W/m²K		
Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE					

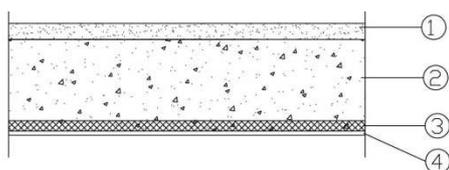
Tabela 3.18 - Cálculo da inércia térmica (IT fraca)

Elemento	M (kg/m ²)	M _{Si} (kg/m ²)	S _i (m ²)	r	M _{Si} · r · S _i (kg)
$I_t = \Sigma (M_{Si} S_i) / A_p$					
Laje de esteira	40,00	40,0	53,32	1	2133
Laje de piso intermédio	130	130	53,32	0,25	1733
Laje de ensoleiramento	53,25	53,25	53,32	1	2839
Paredes exteriores	40,00	40,00	48,71	1	1948
Paredes espaços não úteis	40,00	40,00	92,88	1	3715
Paredes interiores	22,40	22,40	102,60	1	2298
Total					14667
It = 138 (kg/m²)			Inércia térmica fraca		

3.4. Modelo de inércia térmica média

Para conseguir obter uma classificação de inércia térmica média segundo o sistema de classificação do RCCTE, optou-se por uma situação intermédia, com isolamento pelo das lajes e na caixa-de-ar das paredes exteriores, paredes divisórias tradicionais em alvenaria de tijolo e acabamento em estuque projetado, e laje do piso 1 aligeirada com blocos cerâmicos e vigotas de betão armado revestida por soalho flutuante de madeira

As figuras e tabelas seguintes mostram os dados relativos às tipologias de elementos construtivos adotadas nas análises realizadas a modelos de inércia térmica média. Por último é também apresentado o cálculo da classe da inércia térmica do modelo.



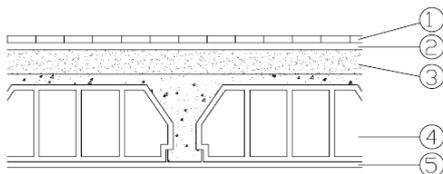
1. Betonilha de regularização
2. Laje maciça de betão armado
3. Isolamento térmico (XPS)
4. Reboco de cimento

Figura 3.13 - Laje de esteira (IT média)

Tabela 3.19 - Laje de esteira (IT média)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Laje maciça de betão armado	0,20	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
4	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,10 m ² K/W R _{int} = 0,10 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,62 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



1. Laminado de madeira
2. Tela de poliolefina
3. Betonilha de regularização
4. Laje aligeirada de blocos cerâmicos
5. Estuque projetado

Figura 3.14 - Laje do piso 1 (IT média)

Tabela 3.20- Laje do piso 1 (IT média)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Laminado de madeira	0,0075	0,14 ⁽¹⁾	650 ⁽¹⁾	1200 ⁽²⁾
2	Tela de poliolefina	0,0015	-	-	-
3	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1200 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
4	Laje aligeirada de blocos cerâmicos	0,20	R = 0,23 (m ² K/W) ⁽¹⁾	1200 ⁽¹⁾	900 ⁽²⁾
5	Estuque projetado	0,015	0,30 ⁽¹⁾	750 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,10 m ² K/W R _{int} = 0,10 m ² K/W Cor média			U-Value = 1,33 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

(*) A influência da tela de poliolefina não foi considerada na determinação das características térmicas do elemento por indisponibilidade de informação e por não representar um grande contributo, devido à pouca espessura da camada.

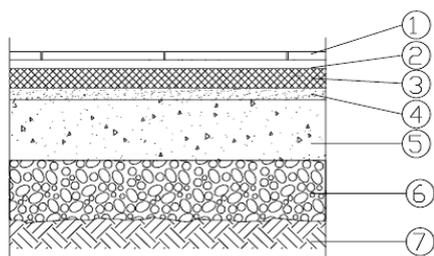


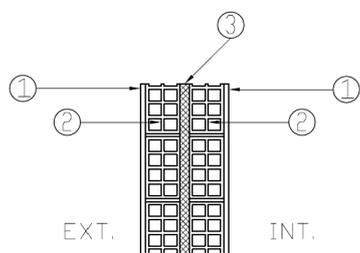
Figura 3.15 - Laje do piso térreo (IT média)

1. Pavimento cerâmico
2. Argamassa de assentamento
3. Isolante térmico (XPS)
4. Betonilha de regularização
5. Laje de ensoleiramento em betão armado
6. Brita
7. Terreno

Tabela 3.21 - Laje do piso térreo (IT média)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Pavimento cerâmico	0,0075	1,30 ⁽¹⁾	2300 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
2	Argamassa de assentamento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
4	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
5	Laje maciça de betão armado	0,16	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
6	Brita	0,30	1,40 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,17 m ² K/W R _{int} = 0,17 m ² K/W Cor média			U-Value = 0,56 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



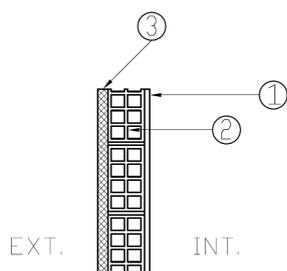
1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico 11
3. Isolamento térmico (XPS)

Figura 3.16 - Parede exterior (IT média)

Tabela 3.22 - Parede exterior (IT média)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W)$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	25 ⁽¹⁾	1380 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W)$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
3	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,04 m ² K/W R _{int} = 0,13 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,55 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



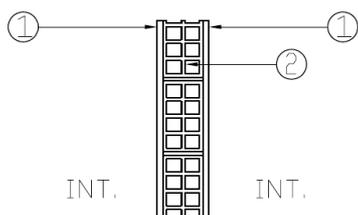
1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico
3. Isolamento térmico (XPS)

Figura 3.17 - Parede de espaço não útil (IT média)

Tabela 3.23 - Parede espaço não útil (IT média)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W)$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,13 m ² K/W R _{int} = 0,13 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,61 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



1. Estuque projetado
2. Tijolo cerâmico 11

Figura 3.18 - Parede interior (IT média)

Tabela 3.24 - Parede interior (IT média)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Estuque projetado	0,015	0,30 ⁽¹⁾	750 ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2K/W)$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
1	Estuque projetado	0,015	0,30 ⁽¹⁾	750 ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾
R _{ext} = 0,13 m ² K/W R _{int} = 0,13 m ² K/W Cor clara			U-Value = 1,59 W/m²K		
Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE					

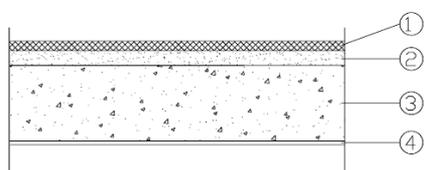
Tabela 3.25 - Cálculo da inércia térmica (IT média)

Elemento	M (kg/m ²)	M _{Si} (kg/m ²)	S _i (m ²)	r	MSI . r . Si (kg)
$I_t = \Sigma (M_{Si} S_i) / A_p$					
Laje de esteira	40,00	40,0	53,32	1	2133
Laje de piso intermédio	386,13	300,0	53,32	0.5	7998
Laje de ensoleiramento	53,25	53,25	53,32	1	2839
Paredes exteriores	118,10	118,1	50,71	1	5999
Paredes espaços não úteis	118,10	118,1	92,88	1	10969
Paredes interiores	100,60	100,6	102,60	1	10322
Total					40260
It = 377 (kg/m²)			Inércia térmica média		

3.5. Modelo de inércia térmica forte

A classificação de inércia térmica forte, segundo o RCCTE, foi conseguida à custa da maximização da exposição dos elementos pesados às trocas de calor com o ambiente interior e aos ganhos solares através dos vãos envidraçados. Para o efeito optou-se por tipologias de lajes maciças, colocação do isolante térmico pelo exterior e revestimentos de superfícies com baixa resistência térmica (e.g. reboco de cimento e pavimento cerâmico na laje do piso 1).

As tipologias adotadas e as suas características são apresentadas pelas figuras e tabelas que se seguem. Subsequentemente é ainda apresentado o cálculo da classe da inércia térmica do referido modelo.



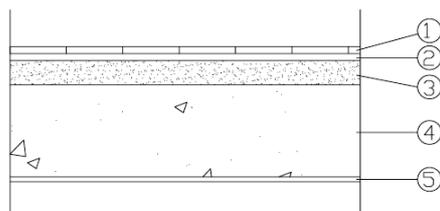
1. Isolamento térmico (XPS)
2. Betonilha de regularização
3. Laje maciça de betão armado
4. Reboco de cimento

Figura 3.19 - Laje de esteira (IT forte)

Tabela 3.26 - Laje de esteira (IT forte)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
2	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	Laje maciça de betão armado	0,20	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
4	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,10 m ² K/W R _{int} = 0,10 m ² K/W Cor clara			U-Value = 0,62 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



1. Pavimento cerâmico
2. Argamassa de assentamento
3. Betonilha de regularização
4. Laje maciça de betão armado
5. Reboco de cimento

Figura 3.20 - Laje do piso 1 (IT forte)

Tabela 3.27- Laje do piso 1 (IT forte)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Pavimento cerâmico	0,0075	1,30 ⁽¹⁾	2300 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
2	Argamassa de assentamento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
4	Laje maciça de betão armado	0,20	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
5	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
R _{ext} = 0,17 m ² K/W R _{int} = 0,17 m ² K/W Cor clara			U-Value = 1,18 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

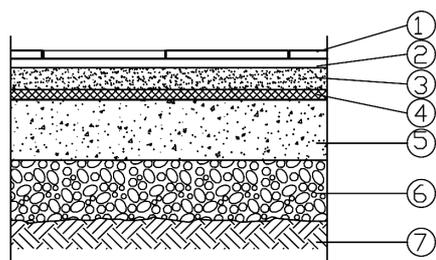


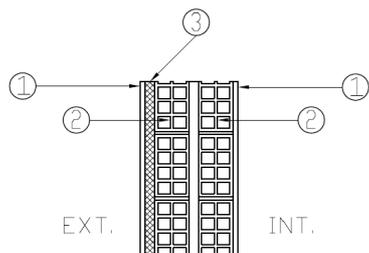
Figura 3.21 - Laje do piso térreo (IT forte)

1. Pavimento cerâmico
2. Argamassa de assentamento
3. Betonilha de regularização
4. Isolante térmico (XPS)
5. Laje de ensoleiramento em betão armado
6. Brita
7. Terreno

Tabela 3.28 - Laje do piso térreo (IT forte)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Pavimento cerâmico	0,0075	1,30 ⁽¹⁾	2300 ⁽¹⁾	837 ⁽²⁾
2	Argamassa de assentamento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
3	Betonilha de regularização	0,10	0,46 ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
4	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
5	Laje maciça de betão armado	0,16	2,00 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
6	Brita	0,30	1,40 (1)	1400 (1)	850 (2)
R _{int} = 0,17 m ² K/W Cor média			U-Value = 0,56 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

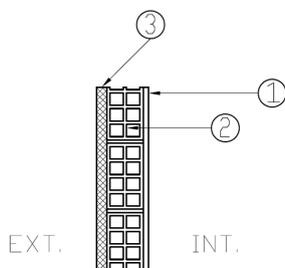


1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico 11
3. Isolamento térmico (XPS)

Figura 3.22 - Parede exterior (IT forte)

Tabela 3.29 - Parede exterior (IT forte)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2KW) ^{(1)}$	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾
4	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2KW) ^{(1)}$	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
5	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
$R_{ext} = 0,04 m^2K/W$ $R_{int} = 0,13 m^2K/W$ Cor clara			U-Value = 0.55 W/m²K		
Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE					



1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico
3. Isolamento térmico (XPS)

Figura 3.23 - Parede espaço não útil (IT forte)

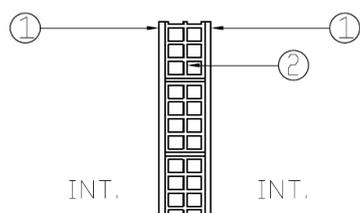
Tabela 3.30 - Parede c/ espaço não útil (IT forte)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	1900 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 (m^2KW) ^{(1)}$	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
3	XPS	0,04	0,037 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	1400 ⁽²⁾

$R_{ext} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $R_{int} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ Cor clara

U-Value = 0,61 W/m²K

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE



1. Reboco de cimento
2. Tijolo cerâmico 11

Figura 3.24 - Parede interior (IT forte)

Tabela 3.31 - Parede interior (IT forte)

Nº	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
1	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
2	Tijolo cerâmico 11	0,11	$R = 0,27 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ ⁽¹⁾	710 ⁽¹⁾	800 ⁽²⁾
	Reboco de cimento	0,02	1,30 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾	1000 ⁽²⁾
$R_{ext} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $R_{int} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ Cor clara			U-Value = 1,78 W/m²K		

Fontes: ⁽¹⁾ LNEC ITE 50, ⁽²⁾ IES_VE

Tabela 3.32 - Cálculo da classe de inércia térmica (IT forte)

Elemento	M (kg/m ²)	M _{Si} (kg/m ²)	S _i (m ²)	r	MSI . r . Si (kg)
$I_t = \Sigma (M_{Si} S_i) / A_p$					
Laje de esteira	570,00	150,00	53,32	1	7998
Laje de piso intermédio	623,25	300,00	53,32	1	15996
Laje de ensoleiramento	53,25	53,25	53,32	1	2839
Paredes exteriores	196,20	150,00	50,71	1	7607
Paredes espaços não úteis	118,10	118,10	92,88	1	10969
Paredes interiores	158,10	158,10	102,60	1	16221
Total					61630

It = 578 (kg/m²)

Inércia térmica forte

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos em cada um dos métodos utilizados e para cada um dos perfis climáticos. Para a avaliação dinâmica são apresentados resultados mensais e anuais das necessidades de aquecimento e arrefecimento para cada um dos modelos (Tabelas 4.1 e 4.2, Figuras 4.11 e 4.12) e as necessidades anuais de cada divisão (Figuras 4.13 e 4.14). São ainda apresentados gráficos dos consumos diários em dias de pico (Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10). Relativamente ao método do RCCTE são apresentados os resultados calculados para as necessidades nominais de climatização e as principais trocas térmicas, assim como os valores referentes à contribuição da inércia térmica.

4.1. IES_VE - Sevilha

Tabela 4.1 - Necessidades nominais de climatização (IES) Sevilha

(kWh/m ²)	IT fraca		IT média		IT forte	
	N _{ic}	N _{vc}	N _{ic}	N _{vc}	N _{ic}	N _{vc}
JAN	5,21	1,08	4,10	0,20	3,84	0,02
FEV	2,99	1,21	2,11	0,33	1,95	0,08
MAR	1,16	2,24	0,60	1,30	0,52	0,94
ABR	0,27	1,57	0,01	1,01	0,00	0,84
MAI	0,02	2,63	0,00	2,06	0,00	1,73
JUN	0,00	7,14	0,00	7,04	0,00	6,98
JUL	0,00	11,41	0,00	11,33	0,00	11,28
AGO	0,00	11,21	0,00	11,13	0,00	11,02
SET	0,00	9,31	0,00	9,15	0,00	9,01
OUT	0,00	4,25	0,00	3,79	0,00	3,59
NOV	1,93	1,47	1,13	0,65	0,90	0,40
DEZ	4,06	1,01	3,09	0,21	2,93	0,03
ANO	15,63	54,54	11,05	48,20	10,14	45,93
	70,17		59,25		56,07	

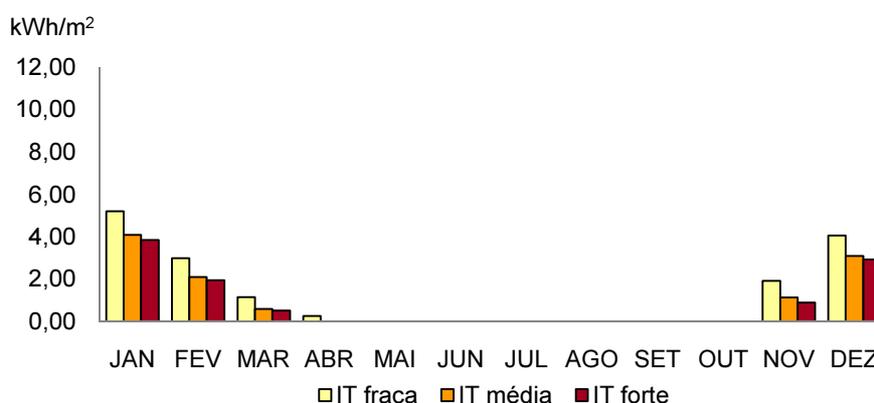


Figura 4.1 - Necessidades nominais de aquecimento (IES) Sevilha

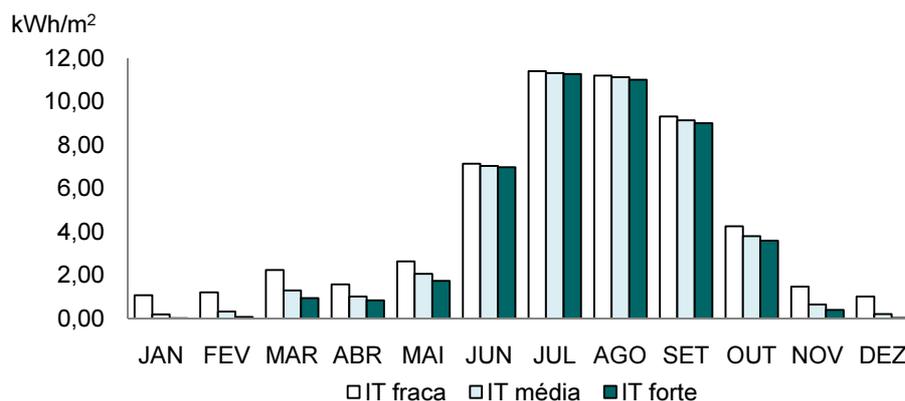


Figura 4.2 - Necessidades nominais de arrefecimento (IES) Sevilha

Tabela 4.2 - Necessidades nominais de climatização por divisão (IES) Sevilha

(kWh/m ²)	N _{ic}			N _{vc}			Total		
	IT fraca	IT média	IT forte	IT fraca	IT média	IT forte	IT fraca	IT média	IT forte
sala	7,27	2,61	1,55	93,66	72,65	65,84	100,93	75,25	67,39
cozinha	23,57	16,67	16,08	30,06	30,91	30,74	53,63	47,57	46,82
dispensa	8,71	3,04	2,38	17,29	25,58	26,67	26,00	28,63	29,04
wc	15,67	13,39	13,39	15,09	19,11	20,04	30,76	32,50	33,44
corr. r/c	41,63	31,42	30,18	28,59	29,21	29,17	70,23	60,63	59,35
quarto 1	7,41	4,89	3,57	56,20	52,82	51,59	63,61	57,71	55,15
quarto 2	7,19	4,57	3,45	56,25	53,27	52,08	63,44	57,84	55,54
ensuite	10,85	4,62	3,88	24,85	30,65	31,88	35,69	35,27	35,77
suite	25,49	23,46	23,16	36,89	35,65	34,98	62,38	59,10	58,15
casa ba.	30,35	27,64	26,87	51,37	45,48	43,85	81,72	73,11	70,71
corre. 1º	16,01	10,29	9,43	24,25	27,60	28,27	40,26	37,89	37,70

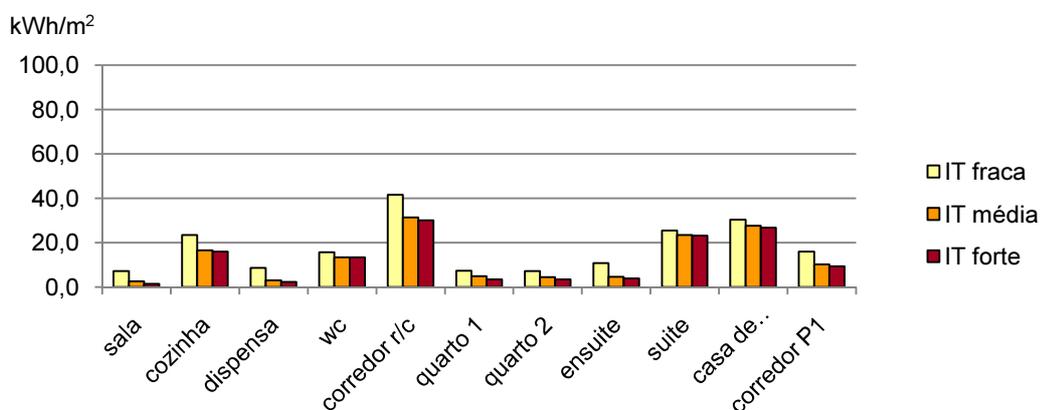


Figura 4.3 - Necessidades nominais de aquecimento por divisão (IES) Sevilha

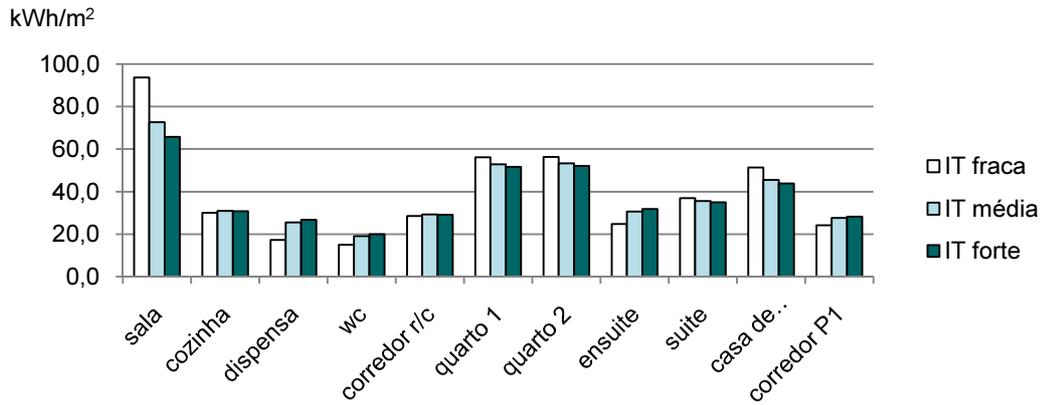


Figura 4.4 - Necessidades nominais de arrefecimento por divisão (IES) Sevilha

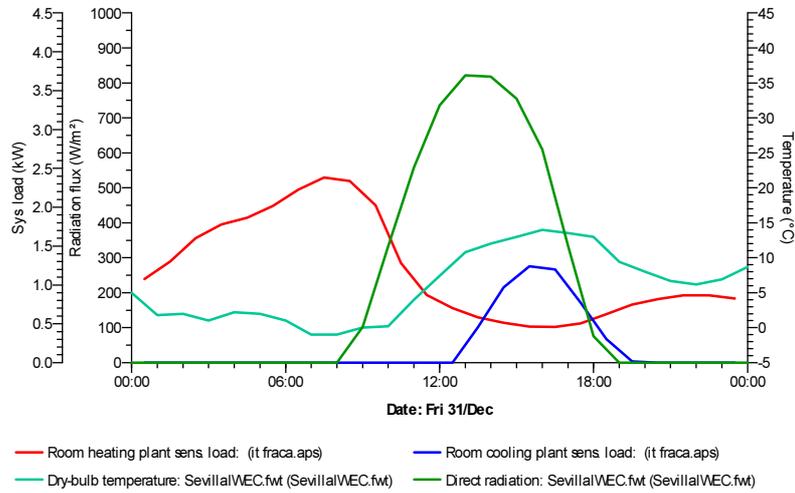


Figura 4.5 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Sevilha (31 dez)

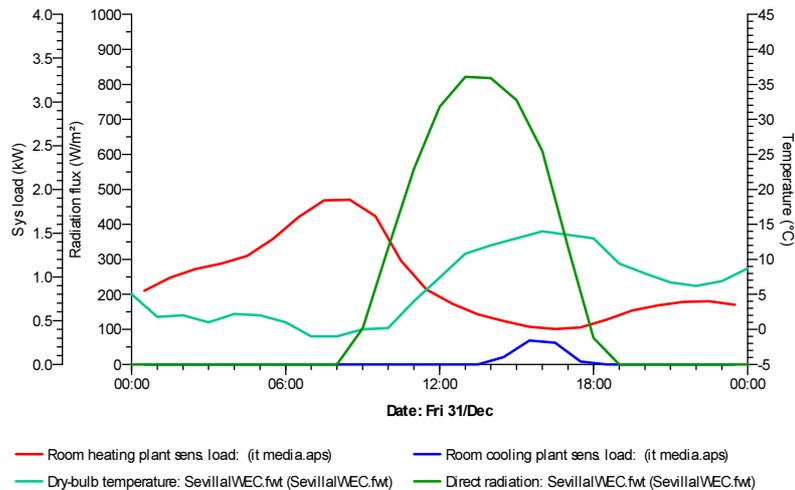


Figura 4.6 - Necessidades de climatização (kW) - IT média - Sevilha (31 dez)

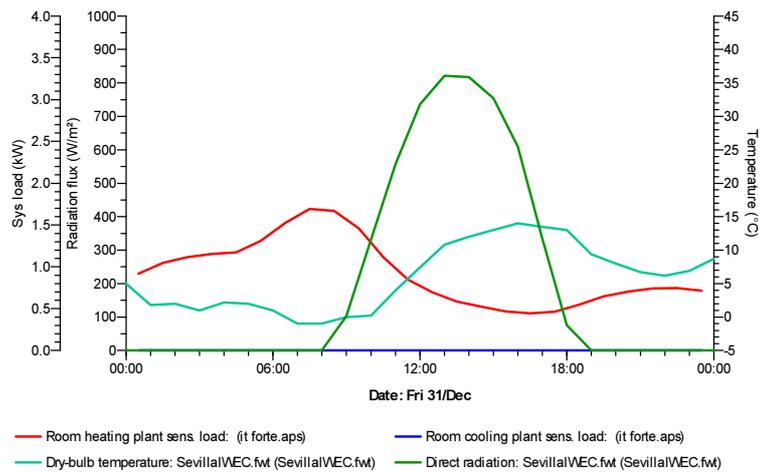


Figura 4.7 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Sevilha (31 dez)

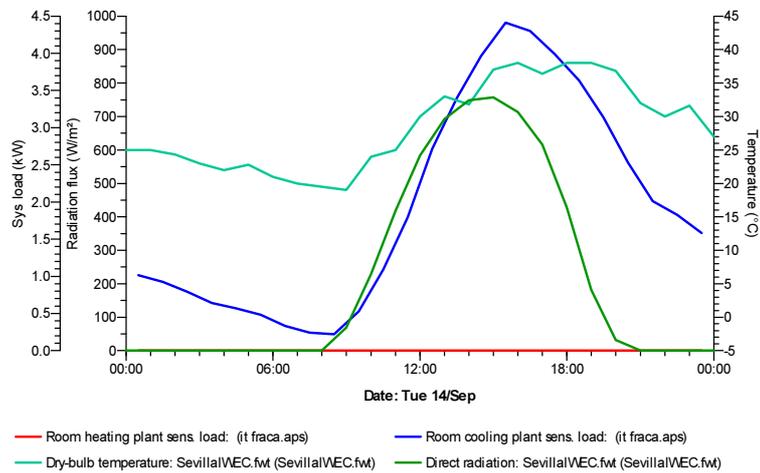


Figura 4.8 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Sevilha (14 set)

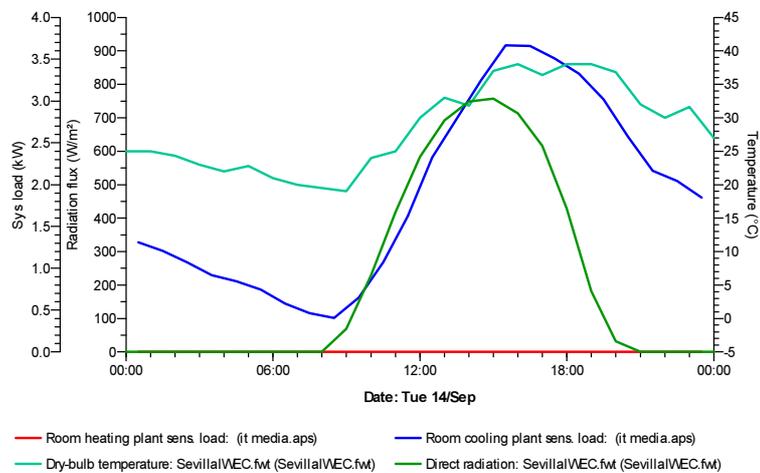


Figura 4.9 - Necessidades de climatização (kW)- IT média - Sevilha (14 set)

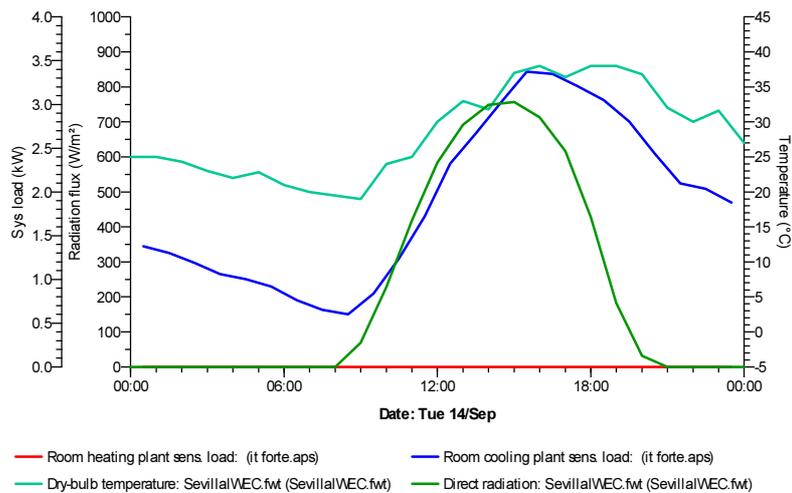


Figura 4.10 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Sevilha (14 set)

4.2. IES_VE - Porto

Tabela 4.3 - Necessidades nominais de climatização (IES) Porto

(kWh/m ²)	IT fraca		IT média		IT forte	
	N _{ic}	N _{vc}	N _{ic}	N _{vc}	N _{ic}	N _{vc}
JAN	7,08	0,29	6,50	0,00	6,45	0,00
FEV	4,28	0,61	3,47	0,08	3,32	0,00
MAR	2,99	0,90	2,08	0,16	1,92	0,02
ABR	1,70	0,79	1,14	0,17	1,08	0,04
MAI	0,57	0,44	0,20	0,06	0,13	0,01
JUN	0,01	1,52	0,00	1,02	0,00	0,80
JUL	0,00	2,31	0,00	1,95	0,00	1,75
AGO	0,00	3,21	0,00	2,77	0,00	2,53
SET	0,02	2,86	0,00	2,30	0,00	2,11
OUT	0,78	1,73	0,30	0,95	0,14	0,66
NOV	3,79	0,66	3,00	0,15	2,78	0,07
DEZ	6,19	0,38	5,65	0,03	5,58	0,00
ANO	27,41	15,71	22,34	9,64	21,40	7,99
	43,12		31,98		29,39	

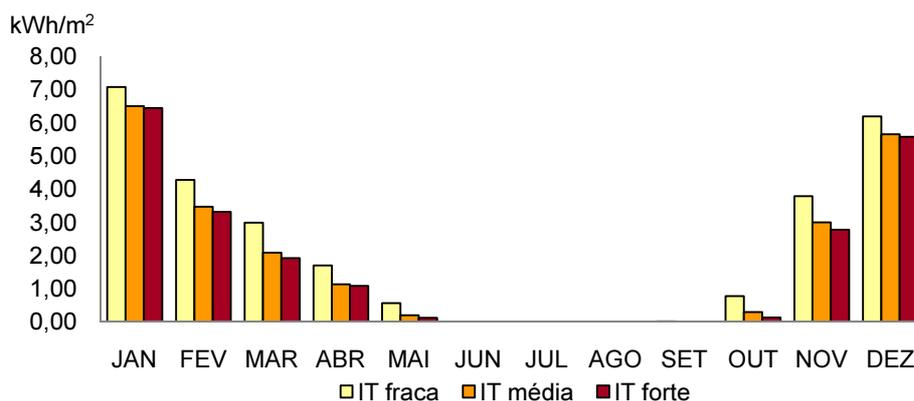


Figura 4.11 - Necessidades nominais de aquecimento (IES) Porto

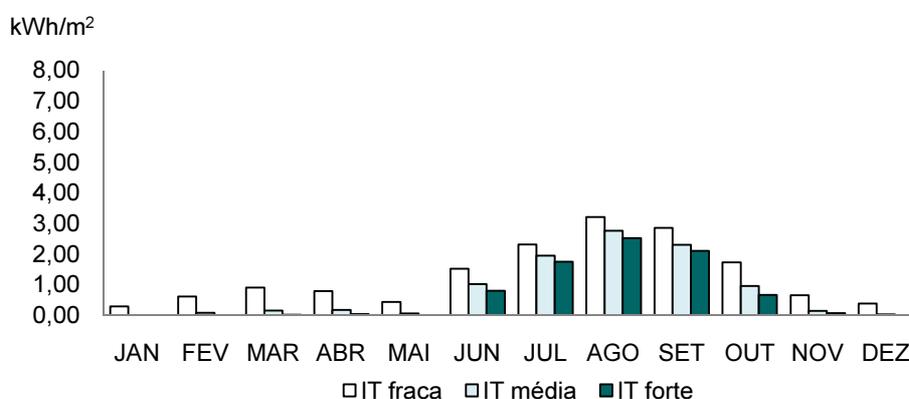


Figura 4.12 - Necessidades nominais de arrefecimento (IES) Porto

Tabela 4.4 - Necessidades nominais de climatização por divisão (IES) Porto

(kWh/m ²)	N _{ic}			N _{vc}			Total		
	IT fraca	IT média	IT forte	IT fraca	IT média	IT forte	IT fraca	IT média	IT forte
sala	15,31	9,84	8,10	40,63	22,24	17,64	55,94	32,08	25,74
cozinha	37,66	30,09	29,83	1,63	1,44	1,19	39,29	31,53	31,02
dispensa	16,46	10,42	10,50	0,17	0,67	0,58	16,63	11,08	11,08
wc	25,80	24,29	24,42	0,09	0,13	0,04	25,89	24,42	24,46
corr. r/c	65,92	53,10	51,66	0,63	0,50	0,28	66,55	53,61	51,93
quarto 1	18,51	15,65	14,70	12,90	10,44	9,67	31,41	26,09	24,37
quarto 2	18,40	15,45	14,68	12,91	10,55	9,88	31,31	26,00	24,56
ensuite	19,54	13,73	13,69	1,69	2,54	2,73	21,23	16,27	16,42
suite	39,34	37,33	36,90	3,39	2,62	2,10	42,72	39,95	39,00
casa ba.	46,23	43,53	42,40	7,86	4,63	3,42	54,08	48,17	45,82
corre. 1º	26,43	21,16	20,92	1,15	1,54	1,50	27,58	22,70	22,42

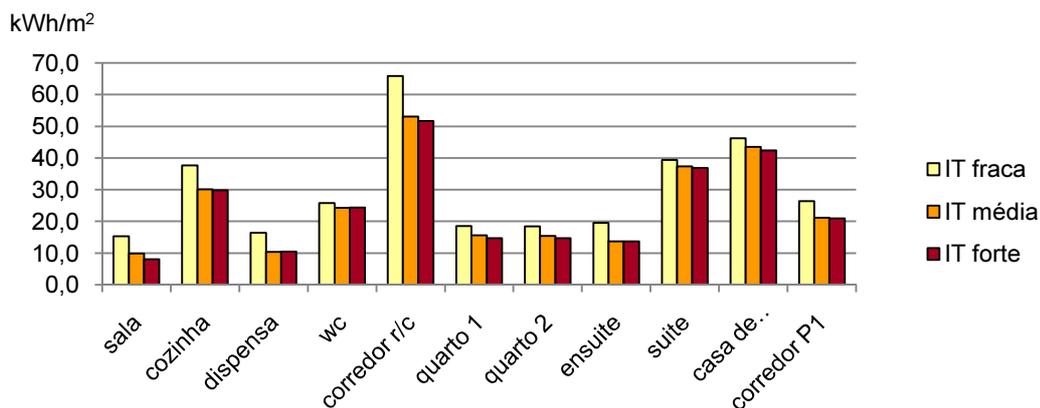


Figura 4.13 - Necessidades nominais de aquecimento por divisão (IES) Porto

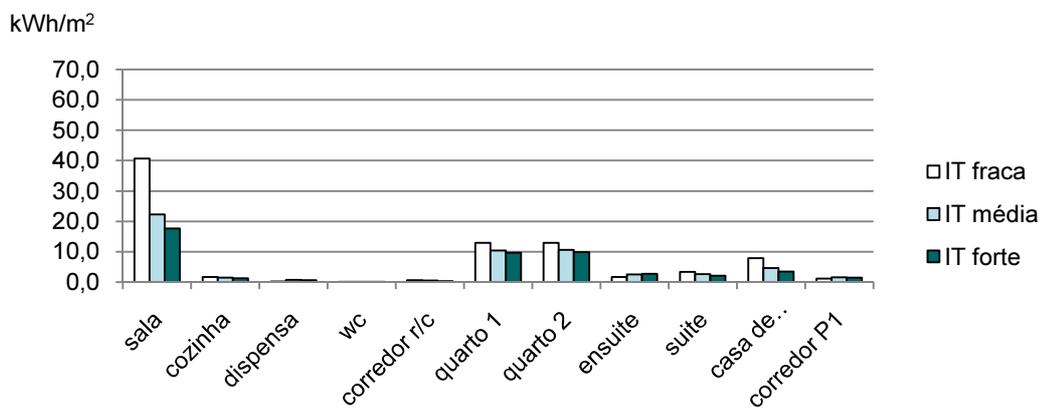


Figura 4.14 - Necessidades nominais de arrefecimento por divisão (IES) Porto

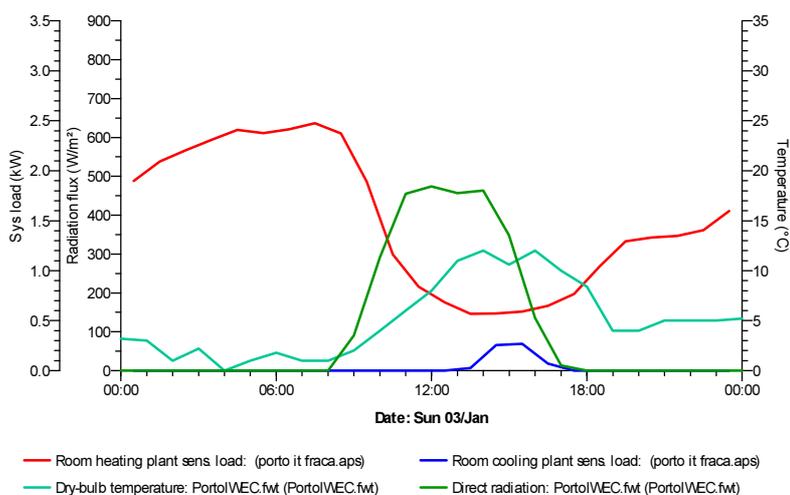


Figura 4.15 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Porto (3 jan)

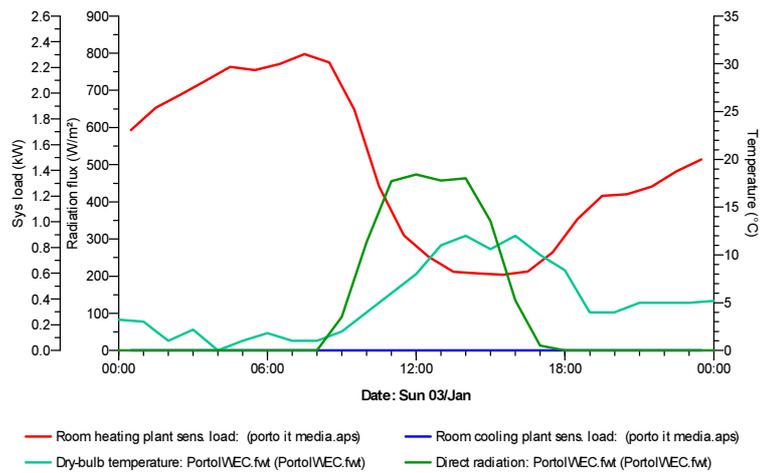


Figura 4.16 - Necessidades de climatização (kW) - IT média - Porto (3 jan)

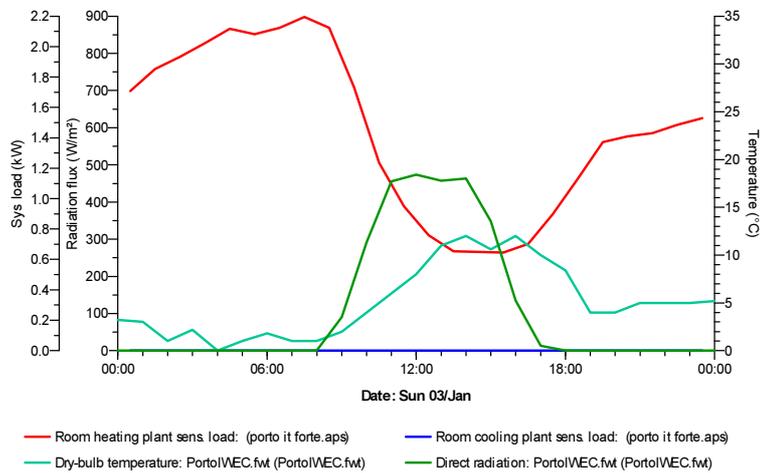


Figura 4.17 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Porto (3 jan)

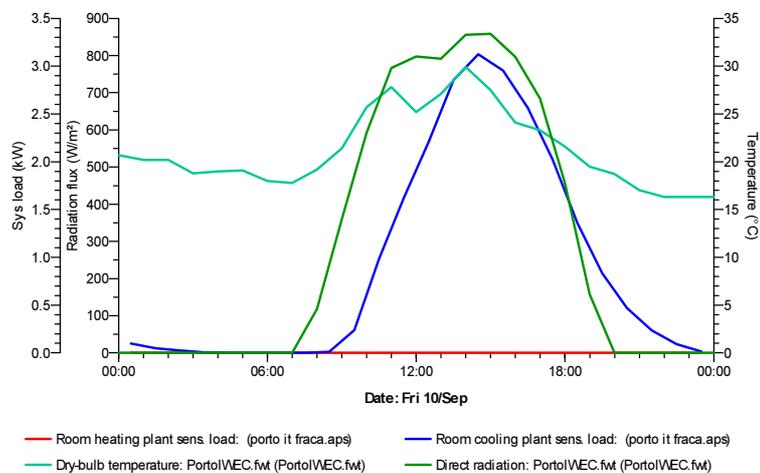


Figura 4.18 - Necessidades de climatização (kW) - IT fraca - Porto (10 set)

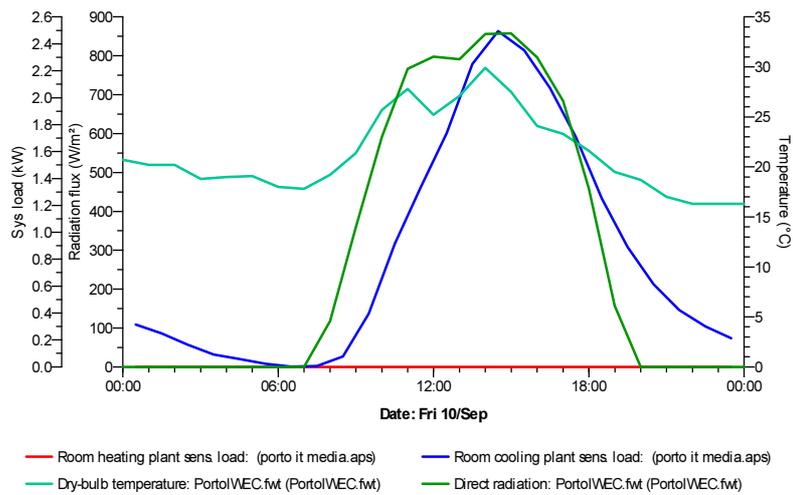


Figura 4.19 - Necessidades de climatização (kW) - IT média - Porto (10 set)

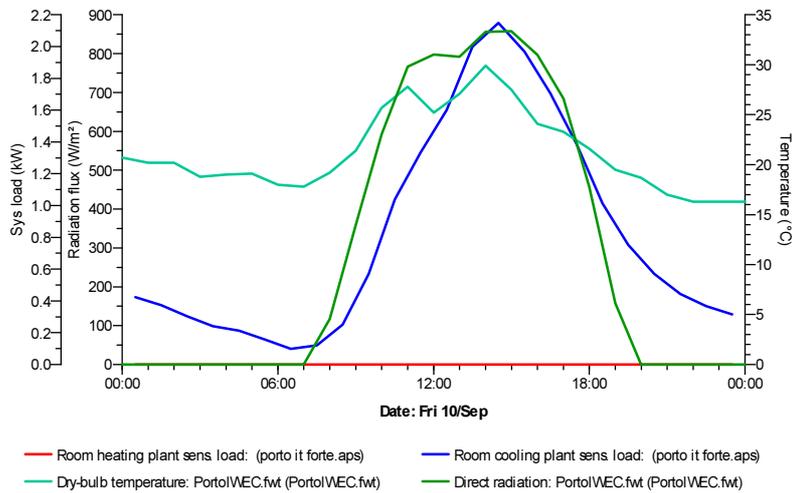


Figura 4.20 - Necessidades de climatização (kW) - IT forte - Porto (10 set)

4.3. RCCTE - Évora

IT fraca

Estação de aquecimento

Perdas térmicas associadas a:

Envolvente Exterior (da FC IV.1ª)	3229,92	kWh/ano
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	2801,24	kWh/ano
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1071,87	kWh/ano
Renovação do ar (da FC IV.1d)	2939,35	kWh/ano
Total de perdas	10042,45	kWh/ano

Ganho térmicos

Ganhos térmicos brutos	5305,89	kWh/ano
γ	0,528	
Inércia térmica	fraca	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,820	
Ganhos totais úteis	4352,47	kWh/ano

Necessidades Nominais de Aquecimento

	5689,97	kWh/ano
	53,36	kWh/m².ano
	\geq	
Nec. nominais de aquec. máximas	64,18	kWh/m ² .ano

Estação de arrefecimento

Ganhos térmicos:

Ganhos solares pelos vãos envidraçados	2256,02	kWh/ano
Ganhos solares pela envolvente opaca	156,39	kWh/ano
Ganhos internos	1248,97	kWh/ano
Total de ganhos	3661,38	kWh/ano

Perdas térmicas

	885,99	kWh/ano
γ	4,13	
Inércia térmica	fraca	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,23	

Necessidades nominais de arrefecimento

	2828,62	kWh/ano
	26,52	kWh/m².ano
	\geq	
Nec. nominais de arref. máximas	32,00	kWh/m ² .ano

IT média

Estação de aquecimento

Perdas térmicas associadas a:

Envolvente Exterior (da FC IV.1ª)	3139,51	kWh/ano
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	2668,13	kWh/ano
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1071,86	kWh/ano
Renovação do ar (da FC IV.1d)	2939,35	kWh/ano
Total de perdas	9818,73	kWh/ano

Ganho térmicos

Ganhos térmicos brutos	5305,89	kWh/ano
γ	0,540	
Inércia térmica	média	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,896	
Ganhos totais úteis	4753,38	kWh/ano

Necessidades Nominais de Aquecimento

	5065,35	kWh/ano
	47,50	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de aquec. Máximas	64,18	kWh/m ² .ano

Estação de arrefecimento

Ganhos térmicos:

Ganhos solares pelos vãos envidraçados	2256,02	kWh/ano
Ganhos solares pela envolvente opaca	156,39	kWh/ano
Ganhos internos	1248,97	kWh/ano
Total de ganhos	3661,38	kWh/ano

Perdas térmicas

	885,99	kWh/ano
γ	4,13	
Inércia térmica	média	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,24	

Necessidades nominais de arrefecimento

	2792,28	kWh/ano
	26,18	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de arref. máximas	32,00	kWh/m ² .ano

IT forte

Estação de aquecimento

Perdas térmicas associadas a:

Envolvente Exterior (da FC IV.1ª)	2933,34	kWh/ano
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	2534,69	kWh/ano
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1071,86	kWh/ano
Renovação do ar (da FC IV.1d)	2939,35	kWh/ano
Total de perdas	9479,20	kWh/ano

Ganho térmicos

Ganhos térmicos brutos	5305,89	kWh/ano
γ	0,560	
Inércia térmica	forte	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,960	
Ganhos totais úteis	5091,21	kWh/ano

Necessidades Nominais de Aquecimento

	4387,99	kWh/ano
	41,15	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de aquec. Máximas	64,18	kWh/m ² .ano

Estação de arrefecimento

Ganhos térmicos:

Ganhos solares pelos vãos envidraçados	2256,02	kWh/ano
Ganhos solares pela envolvente opaca	156,39	kWh/ano
Ganhos internos	1248,97	kWh/ano
Total de ganhos	3661,38	kWh/ano

Perdas térmicas

	885,99	kWh/ano
γ	4,13	
Inércia térmica	forte	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,24	

Necessidades nominais de arrefecimento

	2777,13	kWh/ano
	26,04	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de arref. máximas	32,00	kWh/m ² .ano

4.4. RCCTE - Porto

IT fraca

Estação de aquecimento

Perdas térmicas associadas a:

Envolvente Exterior (da FC IV.1 ^a)	3741,12	kWh/ano
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	3244,60	kWh/ano
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1241,50	kWh/ano
Renovação do ar (da FC IV.1d)	3404,57	kWh/ano
Total de perdas	11631,90	kWh/ano

Ganho térmicos

Ganhos térmicos brutos	5636,33	kWh/ano
γ	0,486	
Inércia térmica	fraca	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,838	
Ganhos totais úteis	4741,06	kWh/ano

Necessidades Nominais de Aquecimento

	6890,84	kWh/ano
	64,62	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de aquec. Máximas	73,62	kWh/m ² .ano

Estação de arrefecimento

Ganhos térmicos:

Ganhos solares pelos vãos envidraçados	2144,35	kWh/ano
Ganhos solares pela envolvente opaca	148,75	kWh/ano
Ganhos internos	1248,97	kWh/ano
Total de ganhos	3542,93	kWh/ano

Perdas térmicas

	2657,93	kWh/ano
γ	1,33	
Inércia térmica	fraca	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,55	

Necessidades nominais de arrefecimento

	1600,27	kWh/ano
	15,01	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de arref. máximas	16,00	kWh/m ² .ano

IT média

Estação de aquecimento

Perdas térmicas associadas a:

Envolvente Exterior (da FC IV.1ª)	3636,41	kWh/ano
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	3090,43	kWh/ano
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1241,50	kWh/ano
Renovação do ar (da FC IV.1d)	3404,57	kWh/ano
Total de perdas	11372,78	kWh/ano

Ganho térmicos

Ganhos térmicos brutos	5656,33	kWh/ano
γ	0,497	
Inércia térmica	média	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,911	
Ganhos totais úteis	5153,09	kWh/ano

Necessidades Nominais de Aquecimento

	6219,69	kWh/ano
	58,32	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de aquec. Máximas	73,62	kWh/m ² .ano

Estação de arrefecimento

Ganhos térmicos:

Ganhos solares pelos vãos envidraçados	2144,35	kWh/ano
Ganhos solares pela envolvente opaca	148,75	kWh/ano
Ganhos internos	1248,97	kWh/ano
Total de ganhos	3542,07	kWh/ano

Perdas térmicas

	2657,96	kWh/ano
γ	1,33	
Inércia térmica	média	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,61	

Necessidades nominais de arrefecimento

	1372,14	kWh/ano
	12,87	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de arref. máximas	16,00	kWh/m ² .ano

IT forte

Estação de aquecimento

Perdas térmicas associadas a:

Envolvente Exterior (da FC IV.1 ^a)	3397,62	kWh/ano
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	2933,94	kWh/ano
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1241,50	kWh/ano
Renovação do ar (da FC IV.1d)	3404,57	kWh/ano
Total de perdas	10979,50	kWh/ano

Ganho térmicos

Ganhos térmicos brutos	5656,33	kWh/ano
γ	0,515	
Inércia térmica	forte	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,969	
Ganhos totais úteis	5481,61	kWh/ano

Necessidades Nominais de Aquecimento

	5497,89	kWh/ano
	51,56	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de aquec. Máximas	73,62	kWh/m ² .ano

Estação de arrefecimento

Ganhos térmicos:

Ganhos solares pelos vãos envidraçados	2144,35	kWh/ano
Ganhos solares pela envolvente opaca	148,75	kWh/ano
Ganhos internos	1248,97	kWh/ano
Total de ganhos	3542,07	kWh/ano

Perdas térmicas

	2657,96	kWh/ano
γ	1,33	
Inércia térmica	forte	
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η)	0,68	

Necessidades nominais de arrefecimento

	1140,28	kWh/ano
	10,69	kWh/m².ano
	≥	
Nec. nominais de arref. máximas	16,00	kWh/m ² .ano

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo é apresentada a análise aos resultados obtidos através dos dois métodos utilizados para avaliar a influência da inércia térmica nas necessidades de climatização de um edifício de habitação, o método de cálculo preconizado pelo RCCTE e uma simulação dinâmica através do programa de *software* IES_VE.

Os resultados obtidos através do método de cálculo das necessidades de climatização previstas pelo RCCTE evidenciaram, como seria de esperar, que as necessidades de climatização dos modelos variam consideravelmente com as condições climáticas a que estão sujeitos, com os modelos a apresentarem necessidades de aquecimento maiores para climas mais frios (Porto) e maiores necessidades de arrefecimento em climas mais quentes (Évora). Ainda assim, para as duas localizações analisadas, os resultados obtidos através deste método apontam para que a inércia térmica tenha uma influência positiva no desempenho térmico de edifícios, uma vez que os modelos de maior inércia térmica apresentaram os valores de consumo energético de climatização mais baixos e os modelos de inércia térmica fraca os valores mais altos, tanto para as necessidades de aquecimento como de arrefecimento. Os modelos de inércia térmica média apresentaram valores de N_{ic} e N_{vc} intermédios.

No entanto, como demonstram as figuras 5.1 e 5.2, os resultados também evidenciaram que os benefícios da inércia térmica se fizeram sentir com intensidades diferentes entre necessidades de aquecimento e arrefecimento e também relativamente a diferentes condições climáticas.

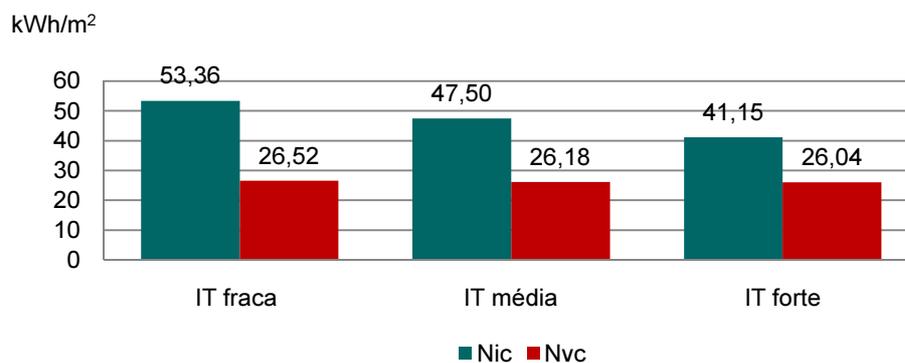


Figura 5.1 - Necessidades nominais de climatização (RCCTE) Évora

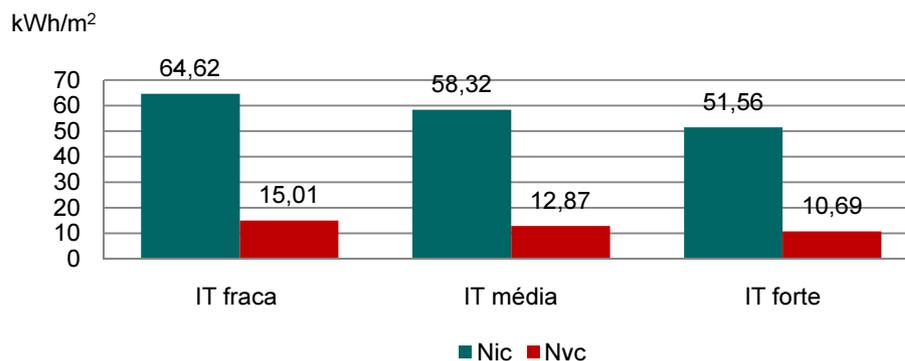


Figura 5.2 - Necessidades nominais de climatização (RCCTE) Porto

Para a localização de Évora, o modelo de inércia térmica forte apresentou necessidades de aquecimento e de arrefecimento respetivamente 13% e 1% inferiores relativamente ao modelo de inércia térmica média, e 23% e 1% relativamente ao modelo de inércia térmica fraca (Figura 5.1). Para a localização do Porto os valores de N_{ic} e N_{vc} para o modelo de inércia apresentaram uma redução de 12% e 17% aos valores estimados para o modelo de inércia média e 20% e 29% relativamente aos valores estimados para o modelo de inércia térmica fraca (Figura 5.2).

Estes factos resultam diretamente do método de cálculo previsto pelo RCCTE e da avaliação que este faz dos efeitos da inércia térmica no desempenho térmico de edifícios. Com efeito, tanto para o cálculo do N_{ic} como do N_{vc} , o método preconizado pelo RCCTE prevê que os efeitos da inércia térmica se traduzam através de um fator de utilização de ganhos térmicos (η), que por sua vez depende da classe de inércia térmica do edifício e da relação entre os ganhos brutos e as perdas térmicas de cada estação (γ). Para a determinação das necessidades de aquecimento, esse fator é multiplicado diretamente pelo valor de ganhos térmicos brutos para determinar o valor de ganhos térmicos úteis. No cálculo das necessidades de arrefecimento, os ganhos térmicos totais são afetados pelo valor que resultar da subtração do complementar do fator de utilização de ganhos térmicos à unidade ($1-\eta$), para determinar as necessidades nominais de arrefecimento.

Tabela 5.1 - Valores do fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento

	IT fraca	IT média	IT forte
Évora	0,820	0,896	0,960
Porto	0,838	0,911	0,969

Tabela 5.2 - Valores do fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento

	IT fraca	IT média	IT forte
Évora	0,23	0,24	0,24
Porto	0,55	0,61	0,68

Assim, segundo a metodologia do RCCTE, a influência da inércia térmica nas necessidades de aquecimento é mais forte em situações com níveis de ganhos térmicos mais baixos e níveis de perdas térmicas elevadas (Tabelas 5.1 e 5.2). Para as necessidades de arrefecimento os benefícios da inércia térmica são maiores na situação inversa, com valores de ganhos altos e valores de perdas térmicas baixas. Isto é, os benefícios da inércia térmica são maiores em climas mais frios relativamente aos valores de N_{ic} , e em climas mais quentes, em relação a N_{vc} para o segundo, o que vai de encontro aos resultados alcançados, e explica o facto de os efeitos da inércia térmica serem sentidos com maior influência para a localização do Porto em relação à de Évora, em particular durante a estação de aquecimento em relação à de arrefecimento.

Um outro facto que merece realce, relativamente aos resultados obtidos através do método do RCCTE, são as alterações dos efeitos das pontes térmicas devido à diferente localização do isolamento térmico nos vários modelos analisados. O RCCTE atribui coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) na determinação das perdas de calor através de pontes térmicas que agravam o desempenho de soluções de isolamento pelo interior e beneficiam soluções de isolamento pelo exterior. Este facto explica a variação das perdas térmicas pelas envolventes opacas (exterior e interior) observadas nos resultados obtidos para os modelos de diferentes classes de inércia térmica, em ambas as localizações. Em relação aos outros tipos de perdas e ganhos térmicos, foram obtidos resultados idênticos para todos os modelos para cada uma das localizações, como seria de esperar, uma vez que foram adotados valores de coeficiente de transmissão térmica iguais para os elementos da envolvente opaca dos vários modelos analisados, assim como vãos envidraçados equivalentes.

Relativamente à avaliação dinâmica realizado através do *software* IES_VE, os resultados obtidos apontam exatamente no mesmo sentido que os resultados alcançados pelo método de cálculo do RCCTE, com os modelos de inércia térmica forte a apresentarem os menores valores de necessidades de climatização, e os modelos de inércia térmica fraca os valores mais altos, para ambos os perfis climáticos utilizados.

Com efeito, como ilustram as figuras 5.3 e 5.4, quanto maior a inércia térmica dos modelos menor são as necessidades de aquecimento e de arrefecimento, tanto para o localização de Sevilha, como para a localização do Porto. Para a localização de Sevilha o modelo de inércia térmica forte revelou uma redução nas necessidades de aquecimento e de arrefecimento 8,2%

e 4,7% respetivamente, em relação ao modelo de inércia térmica média, e 35,1% e 15,8% relativamente às necessidades do modelo de inércia térmica fraca. Para a localização do Porto, o modelo de inércia apresentou valores de N_{ic} e N_{vc} inferiores em 4,2% e 17,1% em relação aos valores estimados para o modelo de inércia média e 21,9% e 49,1% quando comparados com os valores calculados para o modelo de inércia térmica fraca.

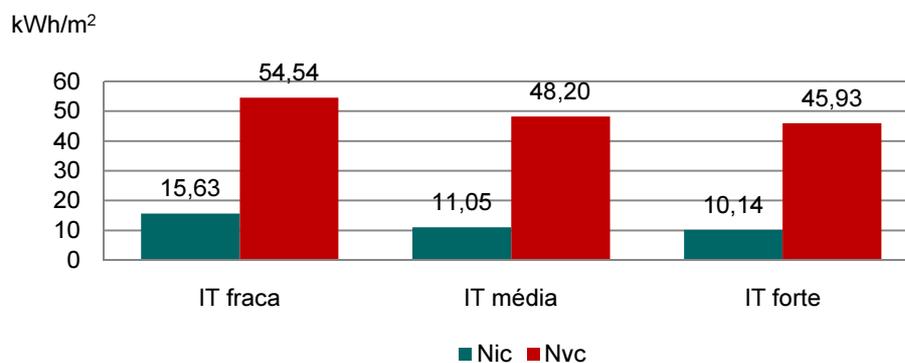


Figura 5.3 - Necessidades nominais de climatização (IES) Sevilha

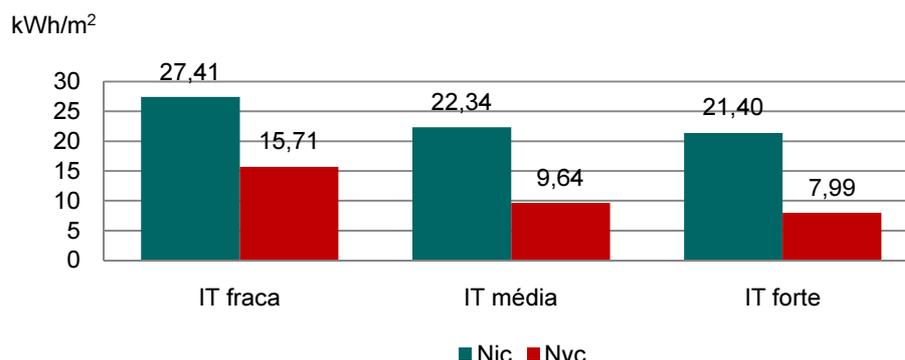


Figura 5.4 - Necessidades nominais de climatização (IES) Porto

Estes valores evidenciam que os benefícios da inércia térmica fazem-se sentir com maior intensidade nas necessidades de arrefecimento para a localização de Sevilha e nas necessidades de aquecimento para o perfil climático do Porto. Este facto é indicativo de que apesar de os modelos de inércia térmica se terem apresentado sistematicamente mais vantajosos em relação aos modelos de menor inércia, esses efeitos são mais acentuados em condições climáticas mais amenas do que em condições mais extremas. Isto deve-se à capacidade da inércia térmica de regular as temperaturas interiores em edifícios ser limitada, durante períodos quentes, e ao aproveitamento apenas parcial dessa capacidade em períodos frios. Durante a estação de aquecimento, como as perdas térmicas pela envolvente são maiores em climas mais frios, o fluxo de calor devido aos ganhos solares que é armazenado nos elementos de elevada inércia térmica é menor do que em climas mais amenos, o que resulta em reduções das necessidades de aquecimento menores, em especial durante o período noturno (Figuras

5.5 e 5.7). Por outro lado, durante a estação de arrefecimento, em condições climáticas mais quentes, as perdas térmicas pela envolvente são menores do que em condições mais amenas, o que mantém os elementos de elevada inércia térmica mais quentes e consequentemente dificulta o restabelecimento da sua capacidade para absorver calor do ambiente interior, o que explica a razão pela qual as reduções nos consumos de arrefecimento verificadas nos modelos do Porto serem maiores do que as reduções verificadas nos modelos de Sevilha (Figuras 5.6 e 5.8).

As figuras seguintes apresentam uma comparação da evolução das temperaturas internas e das potências de climatização dos vários modelos, em função da temperatura externa e dos ganhos solares, que evidenciam as diferenças dos desempenhos térmicos dos vários modelos. Os dados são referentes à divisão da sala, que foi aquela cujos resultados apresentaram uma maior influência da inércia térmica no seu comportamento.

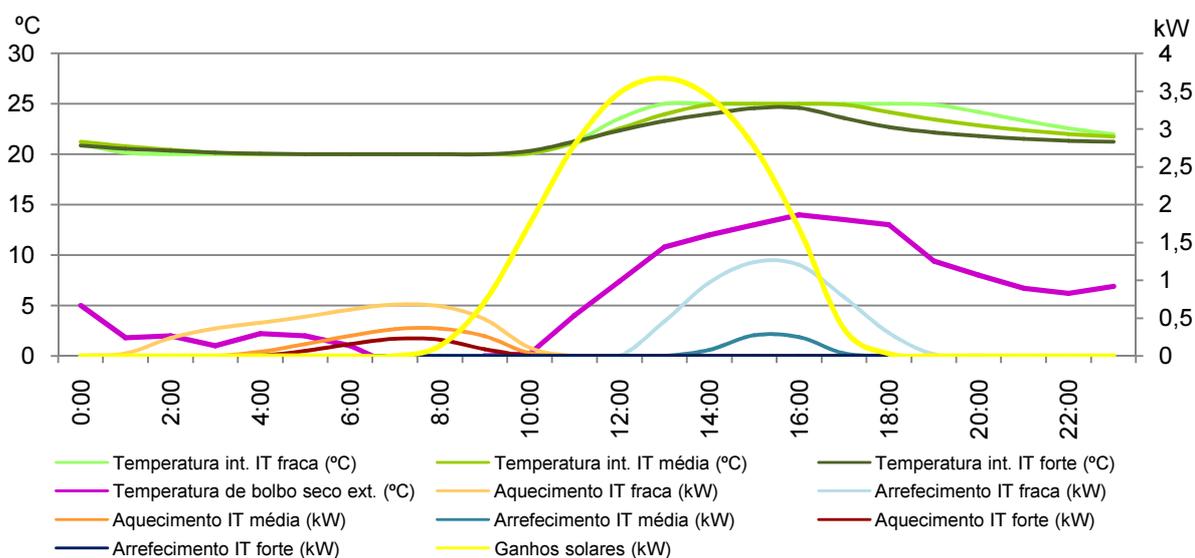


Figura 5.5 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Sevilha (31 dez.)

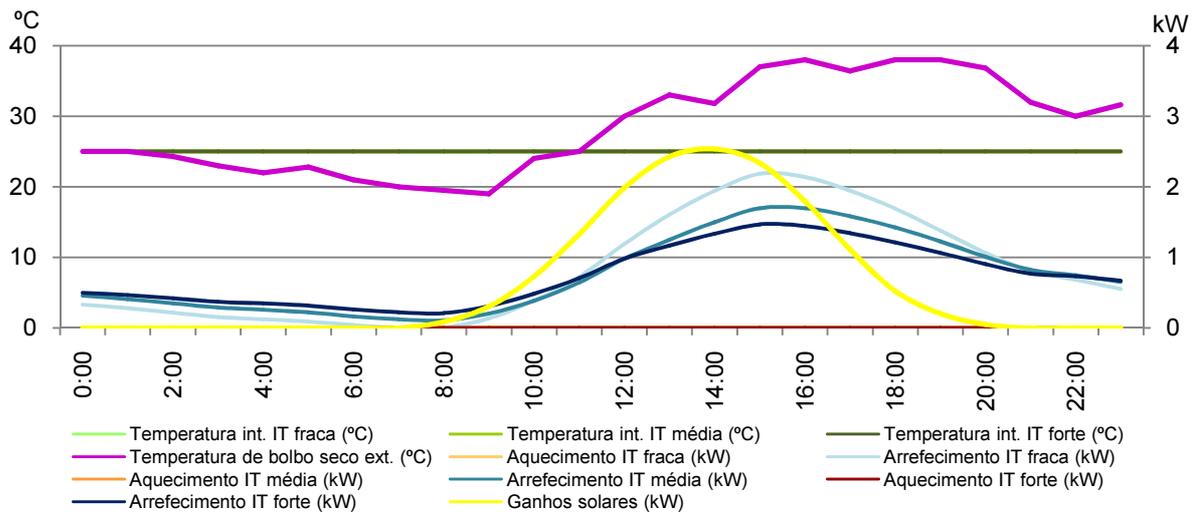


Figura 5.6 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Sevilha (14 set.)

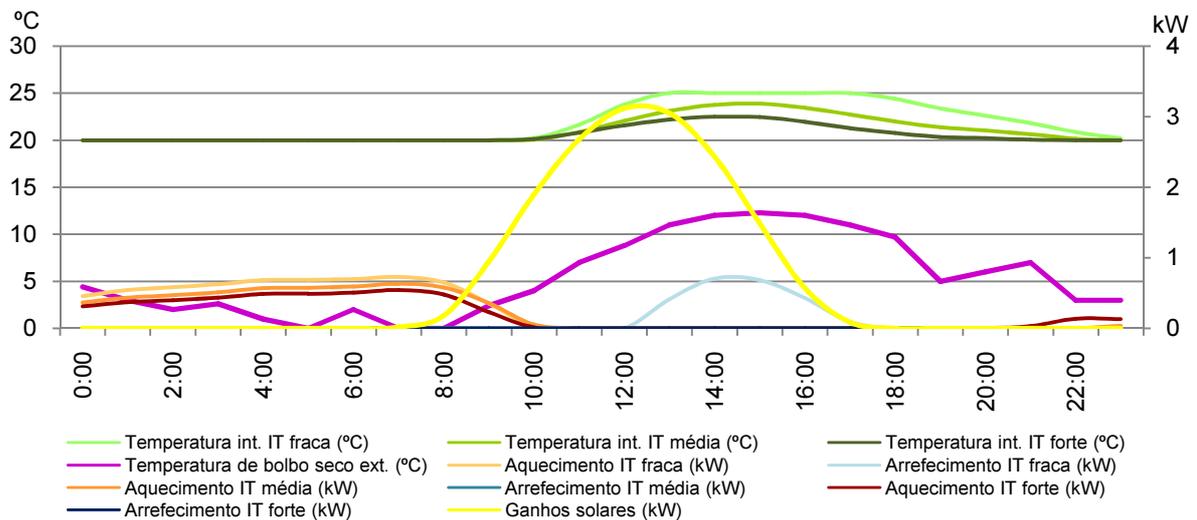


Figura 5.7 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Porto (25 jan.)

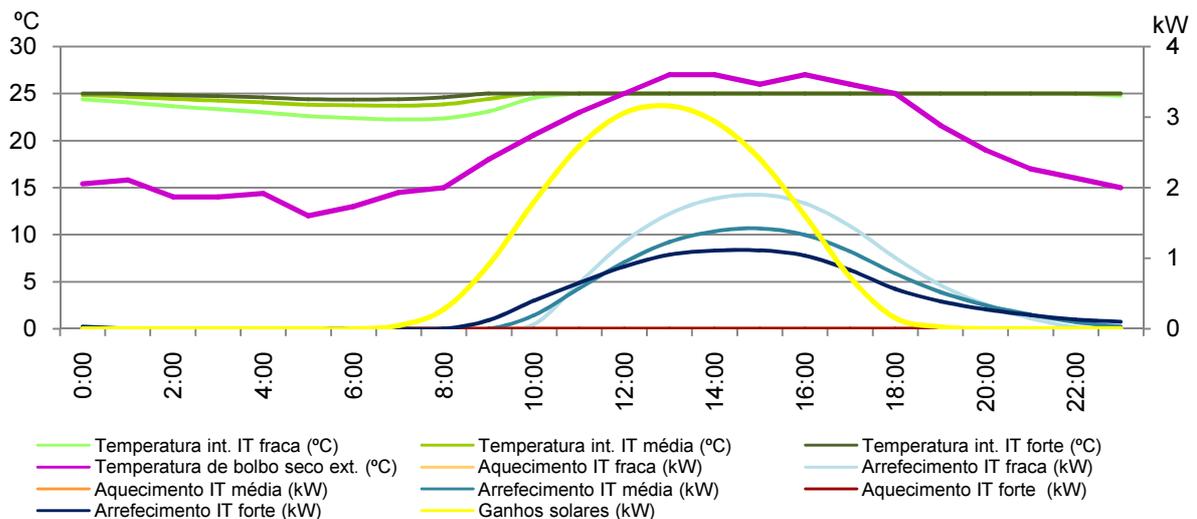


Figura 5.8 - Comparação das necessidades de climatização da sala - Porto (3 out.)

Nas figuras é ainda visível que quanto maior a inércia térmica do modelo mais lenta é a variação da sua temperatura interior e menor a potência de climatização necessária para garantir que os seus valores não excedam o intervalo de conforto (20 - 25°C). Para além disso, as figuras revelam também o efeito de amortecimento das temperaturas internas, característico da inércia térmica.

Relativamente às diferenças no comportamento térmico das divisões dos modelos estudados, os resultados alcançados demonstram que a influência da inércia térmica varia com a localização e as características das mesmas (Figuras 4.3, 4.4, 4.13 e 4.14).

As divisões com envolvente exterior orientada a sul (i.e. sala e quartos 1 e 2) foram aquelas que apresentaram maiores benefícios com origem na inércia térmica, em ambas as localizações, embora com algumas diferenças. No perfil climático de Sevilha, no que diz respeito à sala, o modelo de inércia fraca apresentou necessidades de aquecimento maiores e durante um período do ano maior relativamente ao modelo de inércia média, e este em relação ao modelo de inércia forte. Em relação às necessidades de arrefecimento, apesar de todos os modelos terem apresentado valores de N_{vc} não nulos em todos os meses do ano (Anexo II), é notório que a inércia térmica tem uma influência positiva no comportamento dos modelos, em particular nos meses de inverno, em que a sala do modelo de inércia fraca revelou uma maior facilidade em sobreaquecer. Para o perfil climático do Porto, os benefícios da inércia térmica são ainda mais notórios, em particular nos valores de N_{ic} . Nos quartos, os benefícios da inércia embora evidentes nos valores de N_{vc} nos modelos do Porto, apresentaram-se praticamente nulos nos modelos de Sevilha, o que sugere que a capacidade dos elementos de elevada inércia térmica para armazenar calor tenha sido excedida, por falta de arrefecimento dos elementos durante o período noturno. Contrariamente, os efeitos da inércia térmica nas necessidades de aquecimento são mais notórios nos resultados obtidos nos quartos dos modelos de Sevilha que no quarto dos modelos do Porto. Isto indica no caso do Porto, em que as perdas térmicas pela envolvente são superiores, os ganhos térmicos acumulados nos elementos passam para o ar interior mais rapidamente para tentar compensar o maior abaixamento da temperatura, em alguns casos, ainda durante o período diurno, o que explica o facto de os valores de N_{ic} dos três modelos do Porto serem muito aproximados.

Nas divisões com envolvente externa orientada a norte (i.e. cozinha, corredores, casa de banho e *suite*), os resultados obtidos apontam para valores de N_{ic} consideravelmente superiores aos valores das outras divisões (Figuras 4.3 e 4.13), como que seria esperar, uma vez que possuem uma envolvente exterior, ao contrário dos elementos interiores, e não beneficiam dos mesmos ganhos solares das divisões com envolvente exterior orientada a sul. No entanto, os valores de N_{ic} revelaram uma variação em função da inércia térmica bastante inferior do que nos casos analisados anteriormente em ambas as localizações, em particular, nas divisões sem contacto direto com as divisões com envolvente externa orientada a sul (i.e. *suite* e casa de banho). No que diz respeito aos valores de N_{vc} , os resultados apresentaram maior variação com a localização. No caso do Porto, os valores de N_{vc} das divisões com envolvente externa orientada a norte são praticamente nulos no piso térreo e muito reduzidas

no piso 1, o que resulta de um verão mais ameno. No entanto no caso de Sevilha, onde o verão é consideravelmente mais quente, as divisões deste tipo em contacto direto com as de divisões os modelos de inércia térmica superior apresentaram valores de N_{vc} superiores comparativamente com modelos de inércia inferior, enquanto as divisões sem contacto direto com as divisões viradas a sul apresentam ligeiras reduções com a inércia térmica (Figuras 4.4 e 4.14). Estes factos sugerem que as diferenças verificadas nas necessidades de climatização deste tipo de divisões não se deveram aos diferentes níveis de inércia térmica dos modelos mas sim a trocas de calor internas, entre divisões, resultantes dos diferentes valores de coeficiente de transmissão térmica dos elementos interiores (e.g. lajes e paredes internas) dos três modelos, que dão origem a fluxos de calor entre as divisões orientadas a sul (mais quentes devido aos ganhos solares) e as divisões com orientação a norte (a temperaturas inferiores) com intensidades diferentes.

Nas divisões internas (i.e. wc, dispensa, *ensuite*), relativamente aos valores de N_{ic} os resultados alcançados evidenciam, para ambos os perfis climáticos, reduções significativas nas divisões em contacto com as divisões com envolvente exterior orientada a sul (i.e. dispensa e *ensuite*) e reduções menos significativas no wc que não possui contacto direto com nenhuma dessas divisões (4.3 e 4.13). Por outro lado, os valores de N_{vc} evidenciam um aumento dos modelos de inércia superior em relação aos modelos de inércia inferior (Figuras 4.4 e 4.14), o que novamente se explica pela diferença dos valores dos coeficientes de transmissão térmica entre os vários modelos, que resultam em fluxos de calor entre divisões com intensidades maiores nos modelos de inércia forte e mais baixos nos modelos de inércia térmica fraca.

6. DISCUSSÃO

Neste capítulo é apresentada uma discussão sobre o significado dos resultados obtidos, a sua relevância e a forma como se enquadram com outros estudos sobre a temática da inércia térmica em edifícios, e ainda sobre o seu potencial de aplicação prática. No fundo, é feita uma exposição dos principais contributos resultantes deste estudo no que diz respeito à melhoria da eficiência energética de edifícios.

A análise dos resultados demonstrou que a inércia térmica teve uma influência positiva para os dois perfis climáticos, com os modelos de maior inércia térmica a apresentarem necessidades de climatização consistentemente inferiores aos valores referentes aos modelos de inércia térmica inferior, o que vai de encontro à generalidade da bibliografia sobre o tema. Com efeito, tanto os resultados obtidos através do método do RCCTE como os resultados alcançados pela análise dinâmica revelaram reduções quer nas necessidades de aquecimento como nas necessidades de arrefecimento devido à inércia térmica.

A análise dinâmica revelou ainda que para as condições analisadas a inércia térmica em edifícios resulta em oscilações de temperatura interior mais lentas, visível no sobreaquecimento revelado pelos modelos de inércia térmica mais baixa mesmo em períodos de inverno como demonstram as figuras 5.5 e 5.7. Isto comprova a capacidade dos edifícios de inércia térmica elevada para manter a temperatura interna mais estável do que os edifícios de baixa inércia, o que resulta em necessidades de climatização menores, como explicado por Barnard (1995).

Para além disso, a análise dinâmica permitiu ainda verificar que os benefícios da inércia térmica nas necessidades de aquecimento são sentidos com maior influência nas divisões exteriores orientadas a sul, do que nas divisões internas ou nas divisões exteriores orientadas a norte com exposição solar muito reduzida. Nestas divisões as diferenças verificadas nos resultados dos N_{ic} ficaram-se a dever essencialmente aos diferentes níveis dos valores de coeficiente de transmissão térmica dos elementos interiores de cada modelo, resultantes das diferentes tipologias adotadas de forma a permitir diferenciar os modelos em termos de classe de inércia térmica, segundo a classificação do RCCTE. Este facto confirma que os benefícios da inércia térmica resultam principalmente da capacidade dos elementos para acumularem calor com origem nos ganhos solares durante o dia, para durante a noite o libertarem para o ar interior, limitando assim o abaixamento da temperatura devido às perdas pela envolvente, como descrito por Ip e Miller (2009).

Relativamente às necessidades de arrefecimento, a análise dinâmica demonstrou que os modelos associados à localização do Porto apresentaram reduções mais significativas que os modelos associados ao perfil climático de Sevilha em especial nos períodos mais quentes do ano. Isto revela que no caso de Sevilha, o arrefecimento noturno foi insuficiente para emover o calor acumulado nos elementos de elevada inércia térmica e assim repor a sua capacidade para o dia seguinte, como sugerido por Zhu *et. al.* (2009). Ainda assim, estudos revelam que os benefícios da inércia térmica no valor de N_{vc} poderia ser maximizado através de ventilação natural durante a noite, ou se necessário, através de ventilação mecânica ou ar condicionado,

para tirar proveito das tarifas energéticas mais baratas durante este período (Kolokotroni, 1998).

Apesar dos benefícios evidenciados, os resultados não demonstraram claramente o efeito de desfasamento dos valores máximo e mínimo de temperatura interior devido à inércia térmica, identificado por Balaras (1995). Isso deve-se ao facto do sistema de climatização impedir as temperaturas interiores de excederem os 25°C de máxima e os 20°C de mínima, e explica a razão pela qual em todos os modelos o máximo da potência de climatização necessária para garantir o intervalo de conforto das temperaturas internas seja atingido nos períodos de maior fluxo de calor através da envolvente. No período mais frio do dia, antes do nascer do sol, no caso da potência de aquecimento, e durante o período mais quente do dia, entre as 14h e as 15h, no caso da potência de arrefecimento. Ainda assim, é notório que a variação das temperaturas interiores dos modelos é mais lenta nos modelos com inércia térmica maior.

Em relação ao significado dos resultados e das generalizações que se possam fazer, o tipo de modelo e as condições adotadas para a análise condicionam, como é natural, o significado dos resultados e das generalizações que se possam fazer.

O modelo geral adotado nas várias análises realizadas no estudo carece de dispositivos de sombreamento nos vãos envidraçados orientados a sul, que são determinantes para a eficiência energética. Por este motivo os ganhos solares dos modelos analisados representaram porventura um peso excessivo no desempenho térmico, relativamente a um modelo idêntico com sistema de sombreamento corretamente dimensionado.

A forma do modelo, a sua orientação e o facto deste se encontrar ladeado por edifícios adjacentes são outras características a condicionar os resultados. Um edifício com uma área da envolvente externa maior relativamente a área da envolvente interior, teria uma exposição maior à radiação solar e mais perdas térmicas pela envolvente e consequentemente um comportamento térmico diferente. Pelos resultados obtidos na avaliação dinâmica para as diferentes divisões, será de esperar que edifícios com mais perdas térmicas revelem maiores benefícios devidos à inércia térmica nas necessidades de arrefecimento e edifícios com maiores ganhos solares maiores benefícios nas necessidades de aquecimento, o que entra em contradição com o RCCTE, na medida em que prevê que quanto maior for a diferença entre os ganhos térmicos brutos e necessidades brutas de aquecimento, maior serão os benefícios da inércia térmica.

Outra condicionante é facto da temperatura interior do edifício ser impedida de descer abaixo dos 20°C e exceder os 25°C. Caso isso acontecesse seria de esperar que os modelos de maior inércia térmica apresentassem necessidades de climatização superiores aos modelos de menor inércia para repor os níveis de conforto (Willis et. al., 1995), uma vez que a inércia térmica faz com que a variação da temperatura dos edifícios seja mais lenta e com requisitos energéticos maiores (Frota e Schiffer, 2001). Este aspeto tem particular influência em edifícios

com utilização esporádica, em que seja necessário garantir temperaturas de conforto durante curtos períodos de tempo.

Em termos de aplicação prática, desde que os níveis de isolamento da envolvente externa sejam iguais, os resultados apontam para que a construção tradicional em estrutura de betão armado com alvenaria de tijolo caracterizada por uma inércia térmica forte apresente uma eficiência energética melhor quando comparada à construção em aço leve, que tem vindo a conquistar mercado nos últimos anos. No entanto, estudos recentes demonstram que em edifícios leves a inércia térmica pode ser acrescentada aos edifícios mais leves, através da incorporação de materiais com o ponto de fusão entre os 20°C e os 25°C, nos elementos de maior superfície (Diaconu, 2010; Nagano et. al., 2005). Esses materiais conhecidos por PCM (*phase changing materials*) devido à sua mudança de estado físico têm a capacidade para armazenar calor latente com aumentos de temperatura relativamente reduzidos. Assim, durante os períodos mais quentes o material, originalmente no estado sólido, absorve calor do ambiente interior e derrete. Quando subsequentemente a temperatura baixa, o material volta a solidificar, libertando assim o calor acumulado, contribuindo para a regulação das temperaturas internas através da inércia térmica, mesmo em edifícios com uma tipologia de construção mais leve.

Em relação ao RCCTE, a forma que o regulamento prevê para o cálculo da classe de inércia térmica faz com que seja relativamente fácil atingir a categoria de inércia térmica forte, e comparativamente, muito difícil de obter a classificação de inércia térmica fraca. Na prática, isto resulta para a maioria dos casos, pelo menos em relação a edifícios de habitação, que a inércia térmica dos edifícios seja classificada como forte ou média, o que em conjunto com a classificação em intervalos discretos resulta no esbatimento das diferenças dos efeitos da inércia térmica em edifícios distintos, o que potencialmente condiciona a otimização dos seus benefícios para a eficiência energética dos edifícios.

7. CONCLUSÃO

A eficiência energética dos edifícios tem vindo a ser apontada como um fator determinante para um modelo de desenvolvimento sustentável, principalmente pela energia que consomem e consequentes custos e impactos ambientais. Por este motivo, a presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da melhoria da eficiência energética dos edifícios, tendo por objetivo a análise da influência da inércia térmica nas necessidades energéticas de climatização de edifícios em Portugal.

Para alcançar o objetivo definido foram calculadas e comparadas as necessidades energéticas necessárias de um conjunto de modelos idênticos mas com diferentes níveis de inércia térmica, de forma a manter as temperaturas interiores no intervalo compreendido entre os 20°C e os 25°C.

Os modelos utilizados no estudo, foram baseados num projeto de um edifício de habitação unifamiliar com dois pisos, ladeado por dois edifícios idênticos a Este e a Oeste, ficando as fachadas exteriores orientadas segundo a direção norte-sul. As diferentes classificações de inércia térmica foram alcançadas através de diferentes localizações do isolamento térmico nos elementos da envolvente exterior, e por elementos de divisão interna distintos, representando diferentes tipologias de construção.

Para calcular as necessidades de climatização foram utilizados dois métodos de cálculo. Primeiro foi aplicado o método previsto pelo RCCTE, que é o documento que presentemente regula o desempenho energético de edifícios, e cuja aplicação é obrigatória a todas as frações autónomas dos novos edifícios de habitação e a todos os novos edifícios de serviços sem sistema de climatização centralizados, com exceção das situações previstas no artº 9 do referido Decreto Lei, e ainda a todos os edifícios existentes que venham a sofrer grandes remodelações ou alterações. Em segundo lugar foi realizada uma simulação dinâmica através do programa de software IES_VE, de forma a permitir uma análise mais detalhada.

As necessidades de climatização dos modelos foram calculadas para dois perfis climáticos distintos representantes do território nacional. O primeiro, representado pelas localizações de Évora no cálculo segundo o RCCTE e pela localização de Sevilha, no caso da simulação dinâmica, por indisponibilidade de dados no formato utilizado pelo programa IES. O segundo, representado pela localização do Porto em ambos os métodos utilizados.

Os resultados alcançados através de ambos os métodos levam a concluir que as temperaturas interiores de edifícios com elevada inércia térmica tendem a variar mais lentamente que as temperaturas interiores de edifícios de inércia térmica inferior, o que nos casos de todos os modelos e localizações analisados, resultou em necessidades energéticas menores, quer em relação às necessidades de aquecimento, quer relativamente às necessidades de arrefecimento.

Os resultados obtidos levam também à conclusão que os benefícios da inércia térmica nas necessidades de aquecimento estão diretamente relacionados com os ganhos solares, uma vez que são a principal fonte do calor acumulado nos elementos de elevada massa térmica,

que é utilizado como reserva para minimizar os efeitos da perda de calor pela envolvente, ao ser transferido para o ambiente interior, durante o período noturno.

Relativamente às necessidades de arrefecimento, apesar da consistência revelada pelos resultados, estudos sobre o tema demonstram que os benefícios da inércia térmica dependem da capacidade para remover durante a noite o calor acumulado nos elementos de elevada inércia térmica durante o dia. Quando tal não é garantido, os elementos de elevada inércia térmica tendem a esgotar a sua capacidade para armazenar calor, e os benefícios da inércia térmica deixam de ser evidentes. Os resultados obtidos não evidenciaram este facto uma vez que a taxa de renovação foi mantida constante em todas as análises efetuadas.

Ainda assim, apesar das limitações dos benefícios da inércia térmica evidenciadas, pode-se concluir, que mesmo em condições mais adversas, estes podem ser maximizados com recurso a climatização no período noturno, através da acumulação de calor ou de "frio" nos elementos de elevada inércia térmica conforme as necessidades de climatização previstas para o dia seguinte. Esta solução potencia reduções aos níveis dos custos energéticos, uma vez que as tarifas no período noturno são normalmente mais económicas, e em termos nacionais à minimização da capacidade de produção energética, uma vez que possibilita uma distribuição dos consumos energéticos mais uniforme durante as 24 horas do dia.

Em resumo, o estudo realizado leva à conclusão de que a inércia térmica contribui para a redução dos consumos energéticos para climatização de edifícios, e consequentemente para a redução dos custos e impactos ambientais associados, o que revela um contributo positivo para a eficiência energética dos edifícios e um passo em frente na direção de um desenvolvimento sustentável.

A elaboração desta dissertação, como em qualquer outra, não decorreu sem que tivessem sido encontradas algumas dificuldades e limitações. Um dos principais obstáculos foi a falta de experiência na utilização do programa IES, que apesar de ter melhorado ao longo do trabalho, acabou por limitar o número de parâmetros avaliados nas simulações efetuadas e consequentemente o detalhe das análises. Outra limitação encontrada foi a falta de disponibilidade dos dados climáticos relativos a Évora no formato utilizado pelo programa IES. Esta condicionante inviabilizou uma comparação direta e detalhada dos resultados obtidos pelos dois métodos utilizados para determinar as necessidades de climatização dos modelos, que seria útil para uma análise dos resultados mais detalhada. No entanto, a principal limitação do estudo foi o tempo disponível, pois muito mais haveria para analisar sobre a influência da inércia térmica no desempenho energético de edifícios.

Estudos futuros poderiam analisar a influência da inércia térmica em edifícios com diferentes tipologias e volumetrias, diferentes regimes de ocupação e utilização, diferentes soluções de climatização noturna, etc.

8. BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE - **Energy and Environment Report**. Luxemburgo, Serviço das Publicações da União Europeia, 2008

AL-SANEA, S. A. et. al. - Effect of thermal mass on performance of insulated building walls and the concept of energy savings potential. **Applied Energy**. [S.I.]: Elsevier. 89 (2012) 430-442. 2011

AL-SANEA, S. A. et. al. - Effect of masonry material and surface absorptivity on critical thermal mass in insulated building walls. **Applied Energy**. [S.I.], Elsevier, xxx (2012) xxx-xxx. 2012

BALARAS, C.A. - The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. **Energy and Buildings**. [S.I.], Elsevier, 24 (1996) 1-10. 1995

BARNARD, N. - **Dynamic energy store in the building fabric**. Berkshire, Building Services Research and Information Association, 1995

BARNARD, N. - Making the most of Thermal Mass; **The Architect's Journal**. Watford, Building Research Establishment, ISBN 1 86081 466 2 (21 out 1999), p.47-50

BPIE - **Europe's Buildings Under The Microscope**: A country by country review of the energy performance of buildings. Bruxelas, Buildings Performance Institute Europe, 2011a

BPIE - **Principles for Nearly Zero-Energy Buildings**. Bruxelas, Buildings Performance Institute Europe, 2011b

BRAHAM, D. et. al. - **Thermal Mass in Office Buildings**: An Introduction, Digest 454 Part 1, Londres, Construction Research Communications, 2001

BRECSU - Naturally Comfortable Offices: a refurbishment project, **Good Practice Case Study 308** Watford, Buildings Performance Institute Europe, 1997

BRUNDTLAND COMMISSION - **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. Nova Iorque, Nações Unidas, 1987

BSRIA - **The Illustrated Guide to Ventilation**. Berkshire, Building Services Research and Information Association, 2009

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS - Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões [COM (2008) 30 final] - **Dois vezes 20 até 2020. As alterações climáticas, uma oportunidade para a Europa**. [S.I.], 2008

COMISSÃO EUROPEIA - **EU Energy and Transport in figures**. Luxemburgo; Serviço das Publicações da União Europeia, 2010

CORREIA DOS REIS, A., BRAZÃO FARINHA, M., BRAZÃO FARINHA, J.P. - **Tabelas técnicas - 2010**. Lisboa, Edições Técnicas E.T.L., L.^{da}, 2010. ISBN 978-972-99731-5-4

DGEG - **Eficiência Energética de Edifícios**. Lisboa, Direção Geral da Energia e Geologia e Ministério da Economia, 2002

DGEG - **A Factura Energética Portuguesa 2009**. Lisboa, Direção Geral da Energia e Geologia e Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento, 2010

DGEG - **Energia em Portugal - Principais Números**. Lisboa, Direção Geral da Energia e Geologia, 2012

DIACONU, B. M. - Thermal energy savings in buildings with PCM-enhanced envelop: Influence of occupancy pattern and ventilation. **Energy and Buildings**. [S.I.], Elsevier. 43 (2011) 101-107. 2010

EUROSTAT - **Panorama of Energy: Energy statistics to support EU policies and solutions**. Luxemburgo, Serviço das Publicações da União Europeia, 2009

FIEC - **The FIEC Principles for Sustainability**; Bruxelas, European Construction Industry Federation, 2005

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. - **Manual de Conforto Térmico**. 5ª ed. São Paulo, Studio Nobel, 2001

IP, K. e MILLER, A. - Thermal behaviour of an earth-sheltered autonomous building: The Brighton Earthship, **Renewable Energy - Building and urban sustainability**. [S.I.]: Elsevier. Vol. 34 N°9. 2009

ISQ - **Térmica dos Edifícios**. Oeiras, Instituto da Soldadura e da Qualidade, 1996

ITECONS - **Folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o RCCTE**. Versão V_3_0_6 de 15 de junho de 2011; Coimbra, Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, Universidade de Coimbra, 2011

KRUIHOF, G. - R-rating not the full story; **Owner Builder Magazine** N°100, 2000

KOLOKOTRONI, M. - **Night ventilation for cooling office buildings**. Londres, Building Research Establishment, 1998

KOLOKOTRONI, M. et. al. - An investigation of passive ventilation cooling and control strategies for an education building. **Applied Thermal Engineering**. [S.I.], Elsevier. Vol. 21, N°2. 2001

NAGANO, K. et. al - Study of a floor supply air conditioning system using granular phase changing material to augment building mass thermal storage: heat response in small scale experiments. **Energy and Buildings**. [S.l.], Elsevier. 38 (2006) 436-446, 2005

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - Jornal Oficial das Comunidades Europeias, **Directiva Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios** Luxemburgo, Serviço das Publicações da União Europeia, 2002

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - Jornal Oficial das Comunidades Europeias, **Directiva Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (Reformulação)**; Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2010

PORTUGAL. Ministério da Economia e da Inovação - Diário da República: I Série – A, DL nº 78/2006 – **Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior no Edifícios**. Lisboa: 2006

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações - Diário da República – I Série – A, DL nº 79/2006 – **Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios**. Lisboa: 2006

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações - Diário da República: I Série – A, DL nº 80/2006 – **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios**. Lisboa: 2006

RODRIGUES, A. M., PIEDADE, A. C., BRAGA, A. M. - **Térmica de edifícios**. Amadora, Edições Orion, 2009. ISBN 972-8620-13-4

WILLIS, S. et. al. - **Avoiding or minimizing the use of air-conditioning**: A research report from the EnREI Programme. Watford, BRECSU, 1995

ZHU, L. et. al. - Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house. **Energy and Buildings**. [S.l.], Elsevier. 41 (2009) 303-310. 2008

ANEXOS

Anexo I.a

Dados climáticos utilizados na simulação dinâmica (Sevilha)

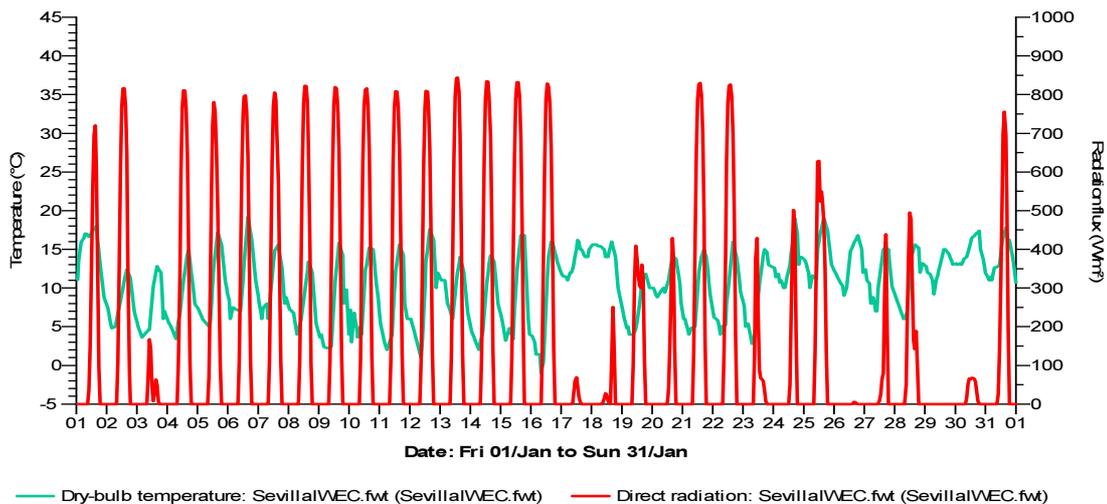


Figura 0.1 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - janeiro

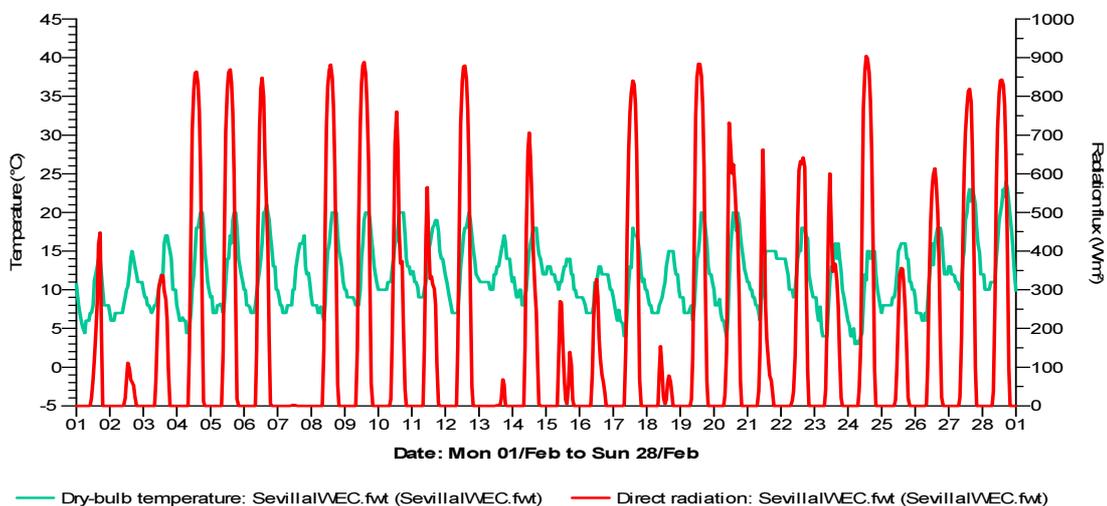


Figura 0.2 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - fevereiro

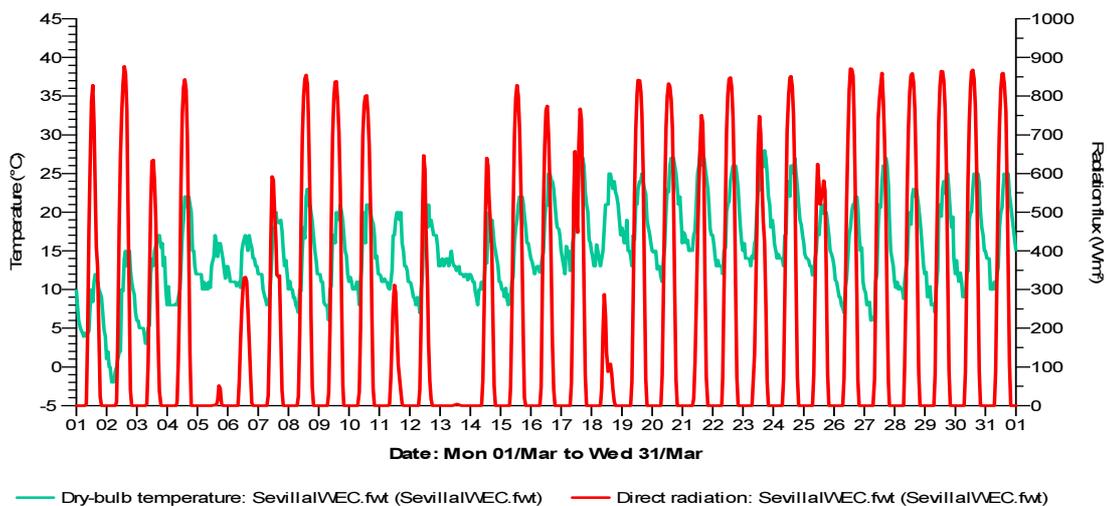


Figura 0.3 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - março

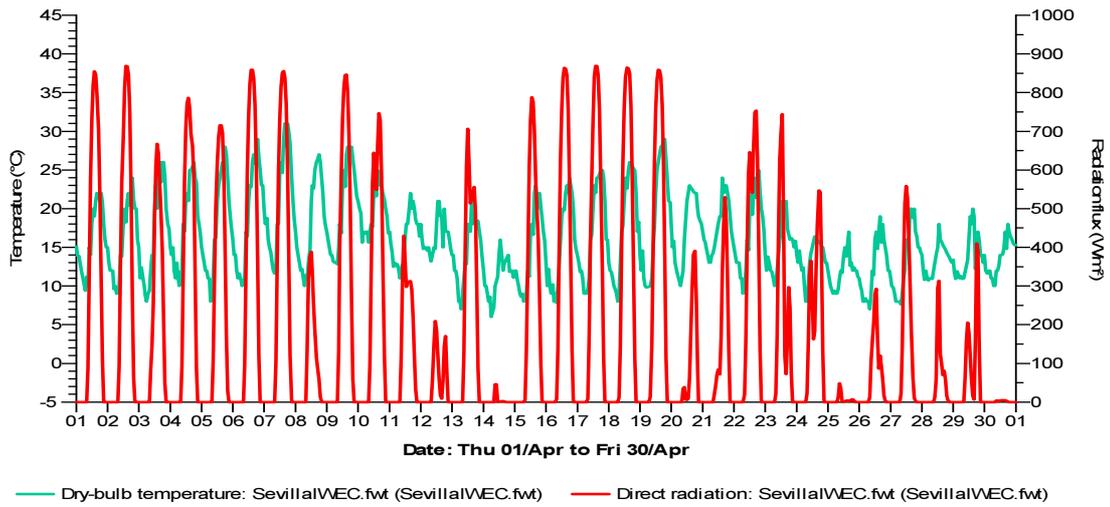


Figura 0.4 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - abril

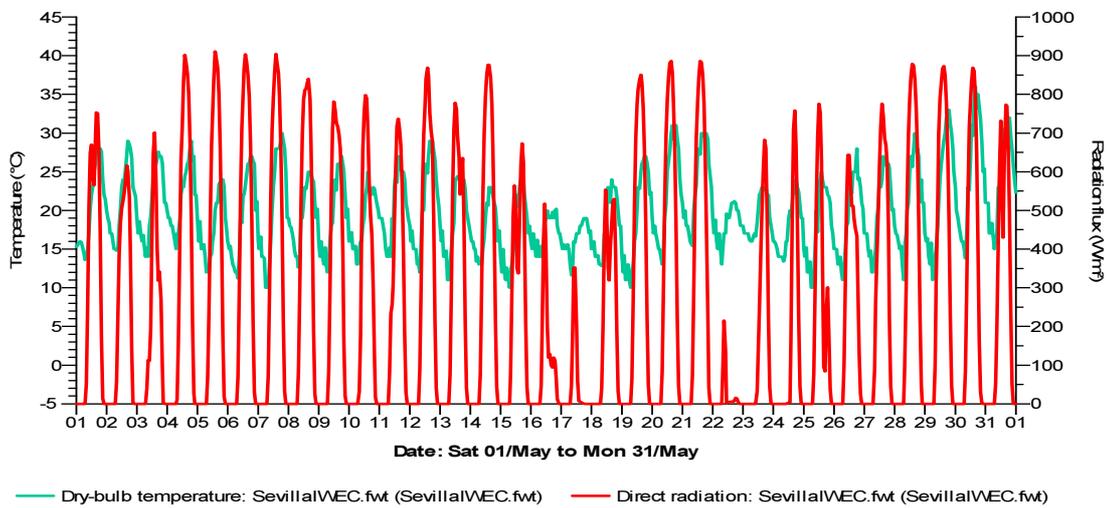


Figura 0.5 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - maio

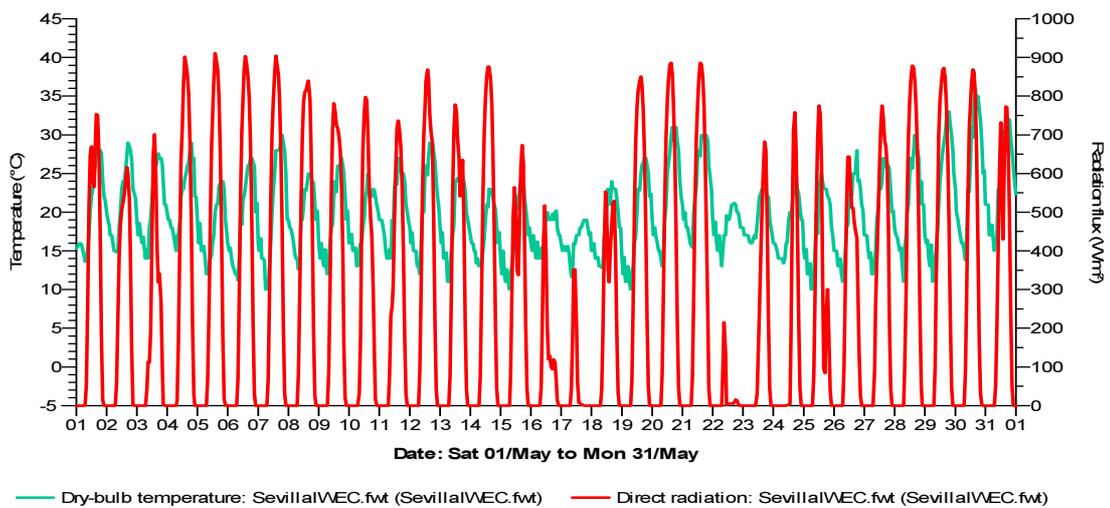


Figura 0.6 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - junho

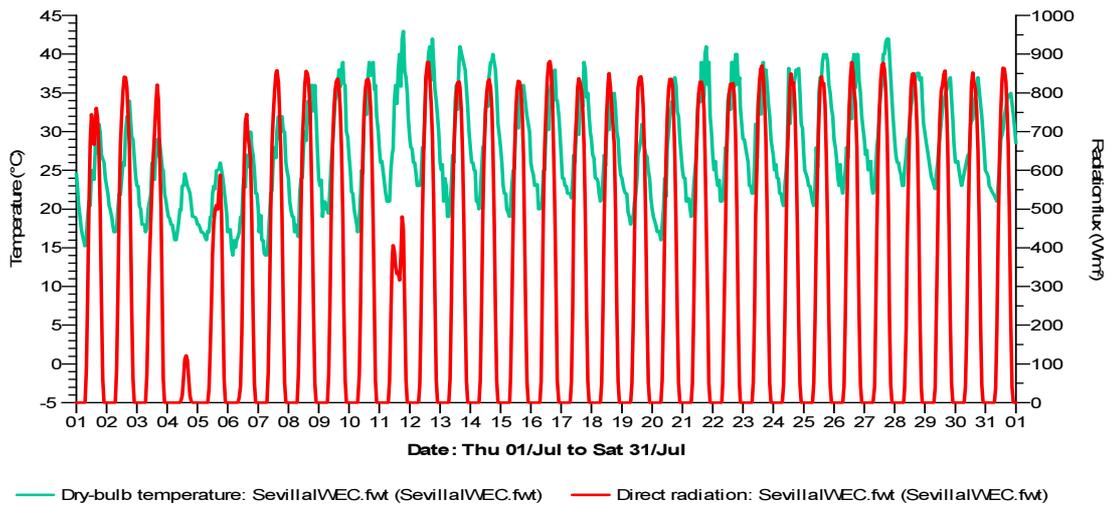


Figura 0.7 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - julho

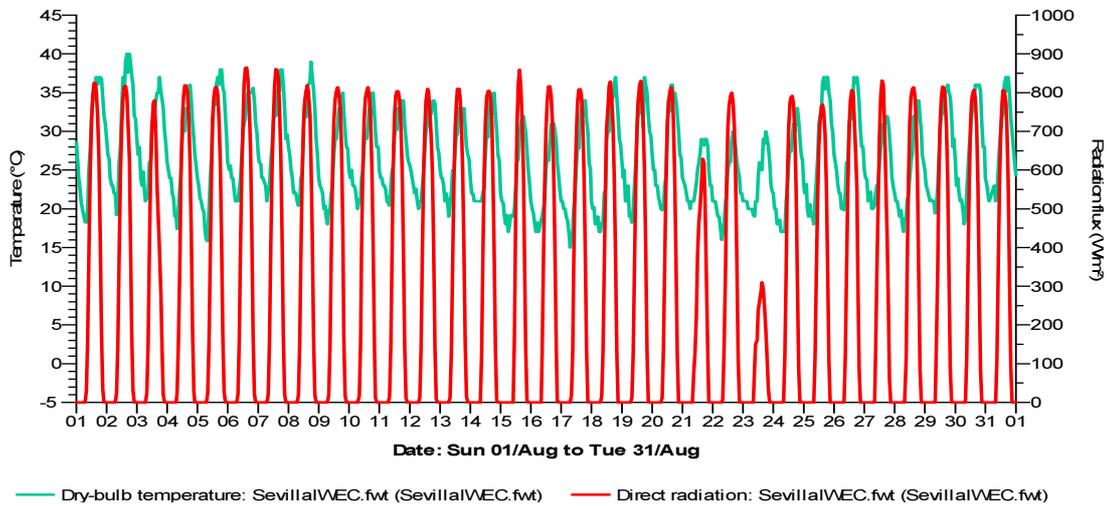


Figura 0.8 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - agosto

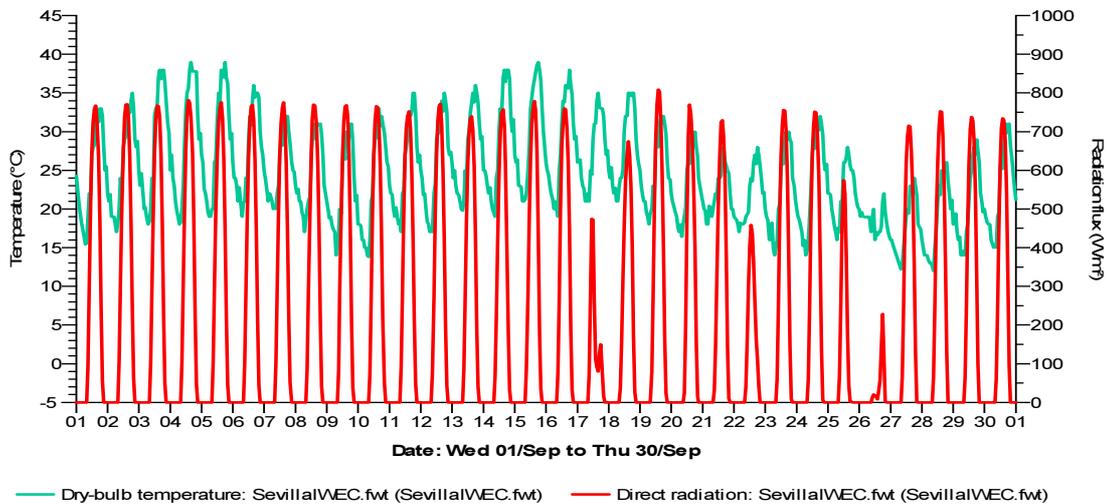


Figura 0.9 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - setembro

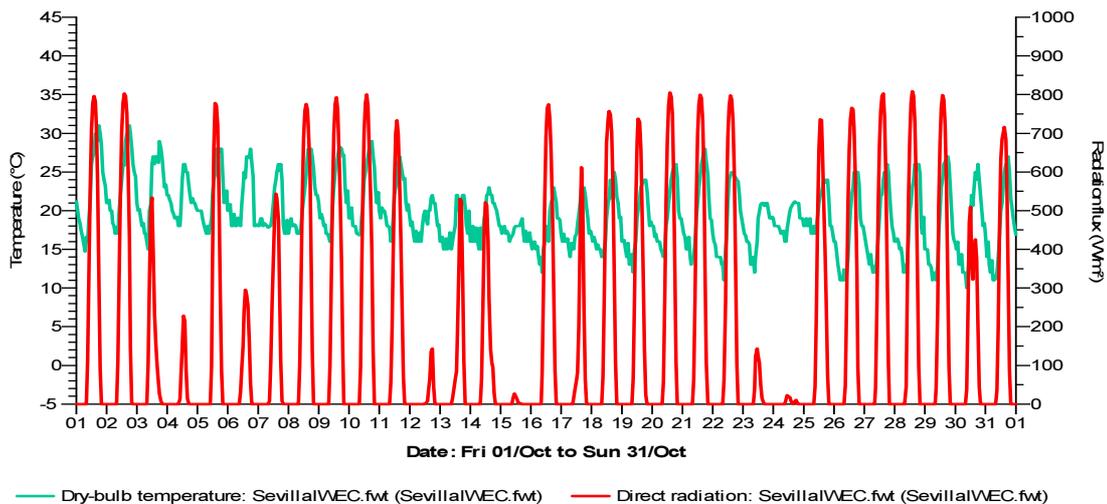


Figura 0.10 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - outubro

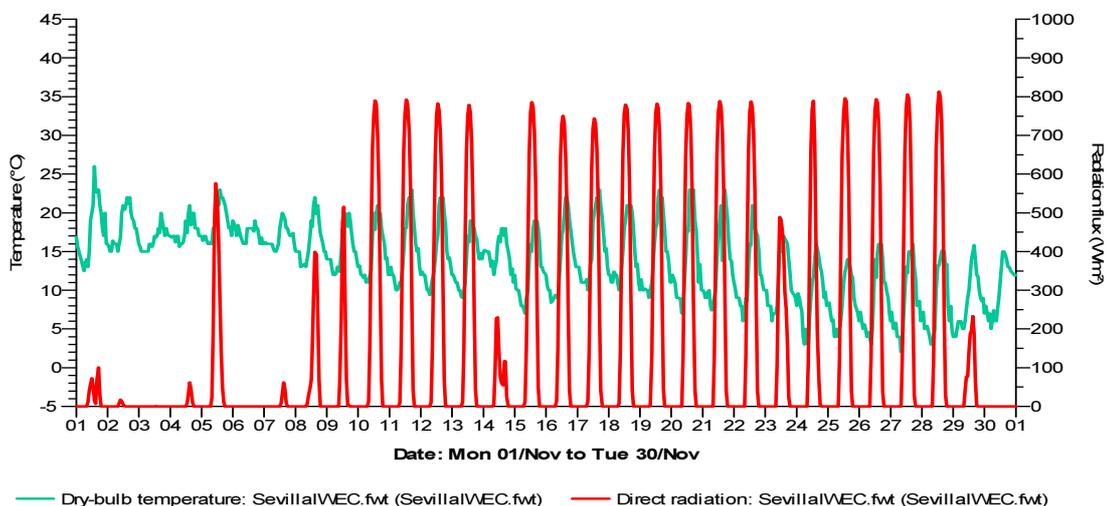


Figura 0.11 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - novembro

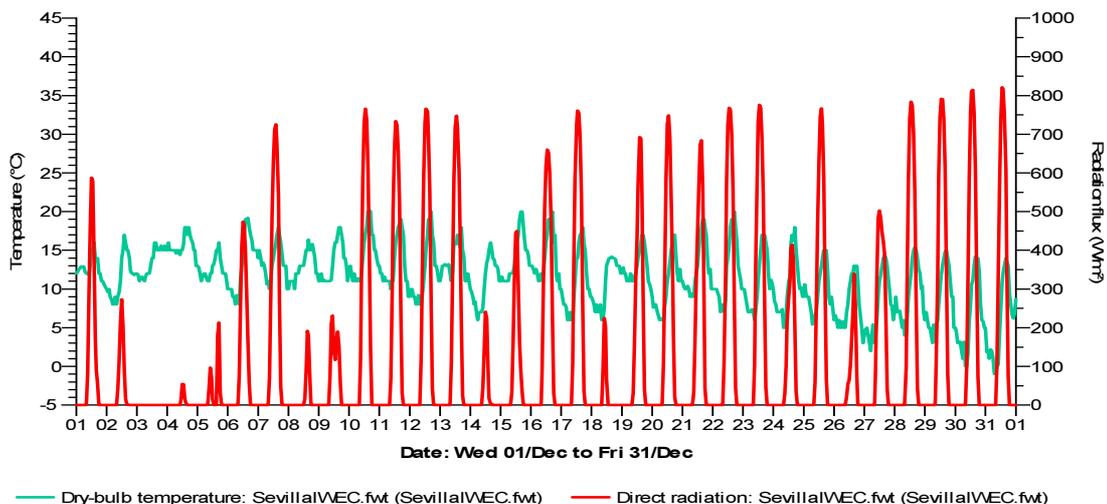


Figura 0.12 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Sevilha - dezembro

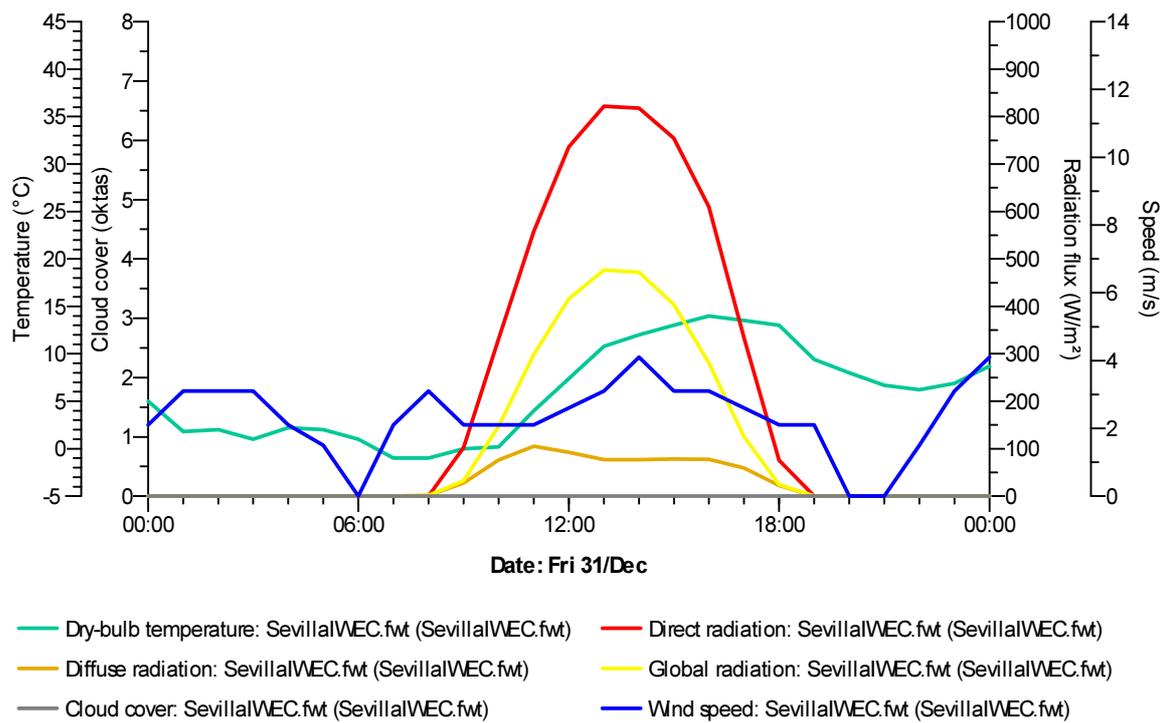


Figura 0.13 - Dados climáticos (IES) Sevilha - 31 dezembro

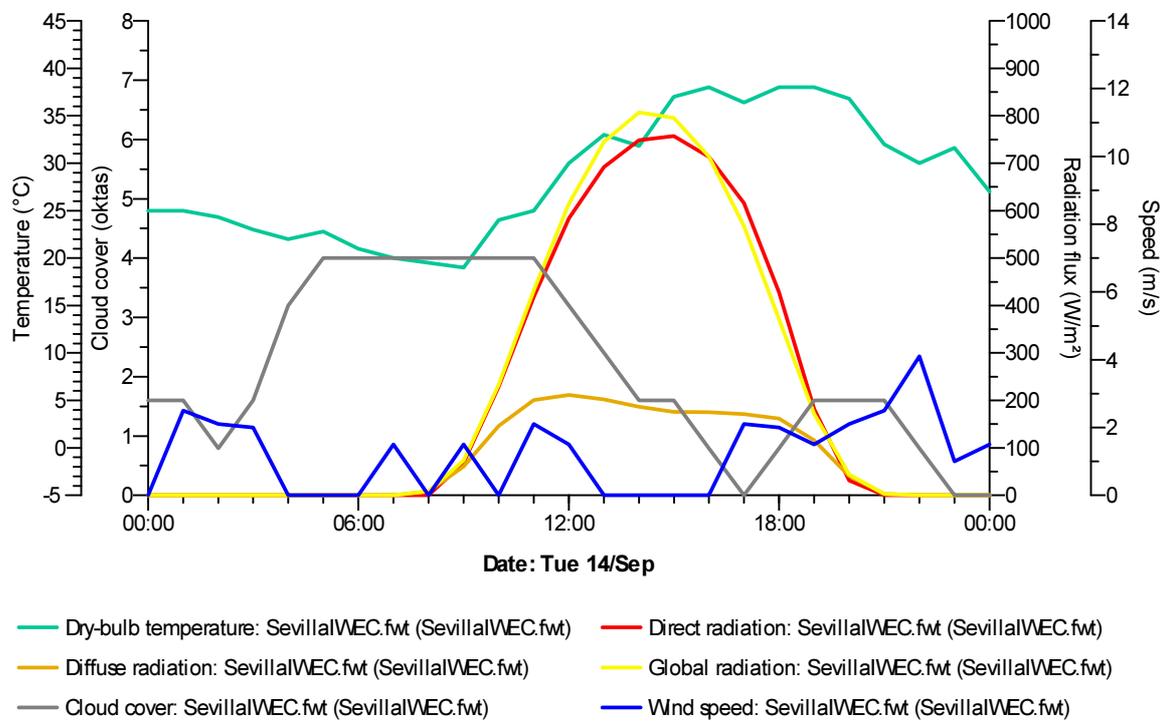


Figura 0.14 - Dados climáticos (IES) Sevilha - 14 setembro

Anexo I.b

Dados climáticos utilizados na simulação dinâmica (Porto)

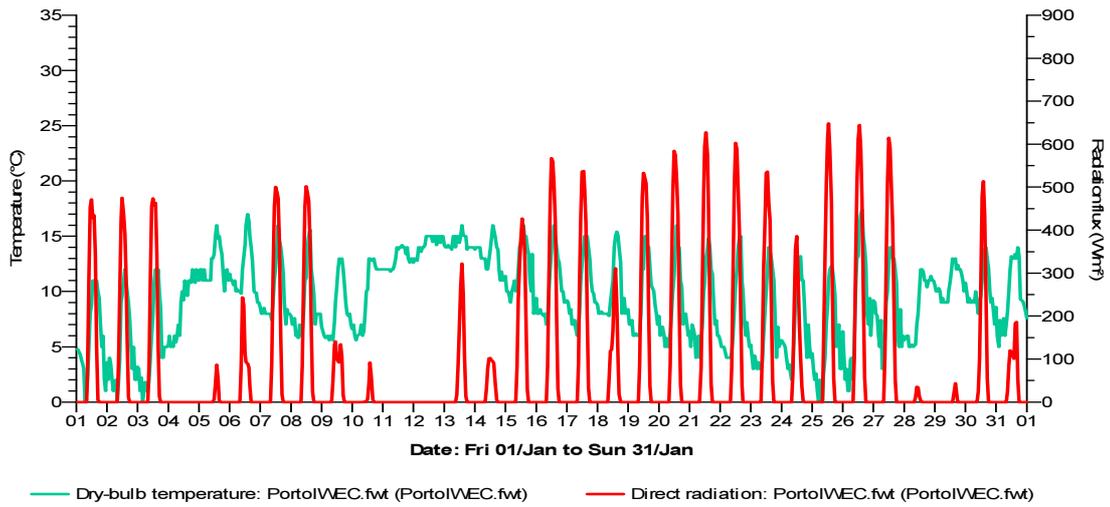


Figura 0.15 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - janeiro

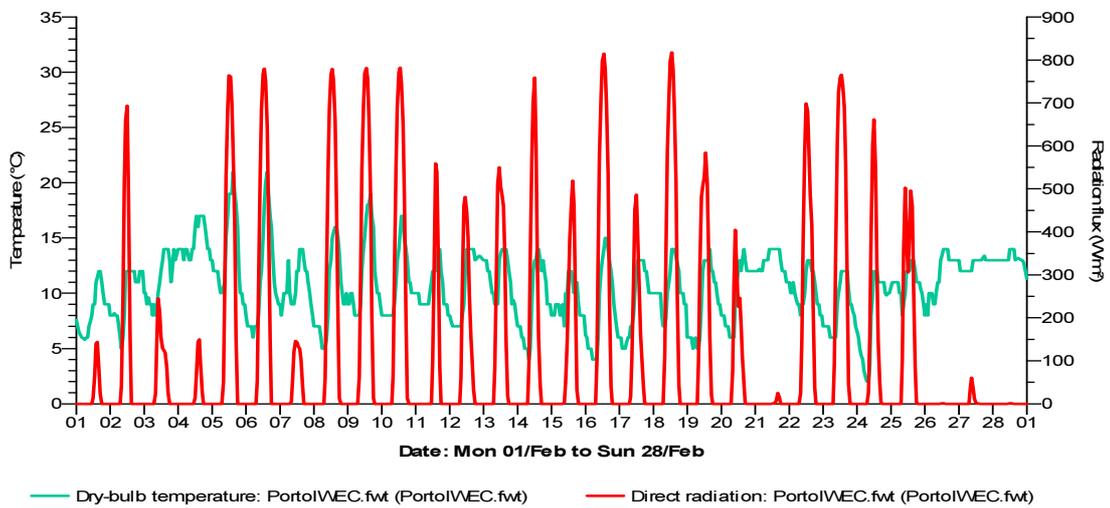


Figura 0.16 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - fevereiro

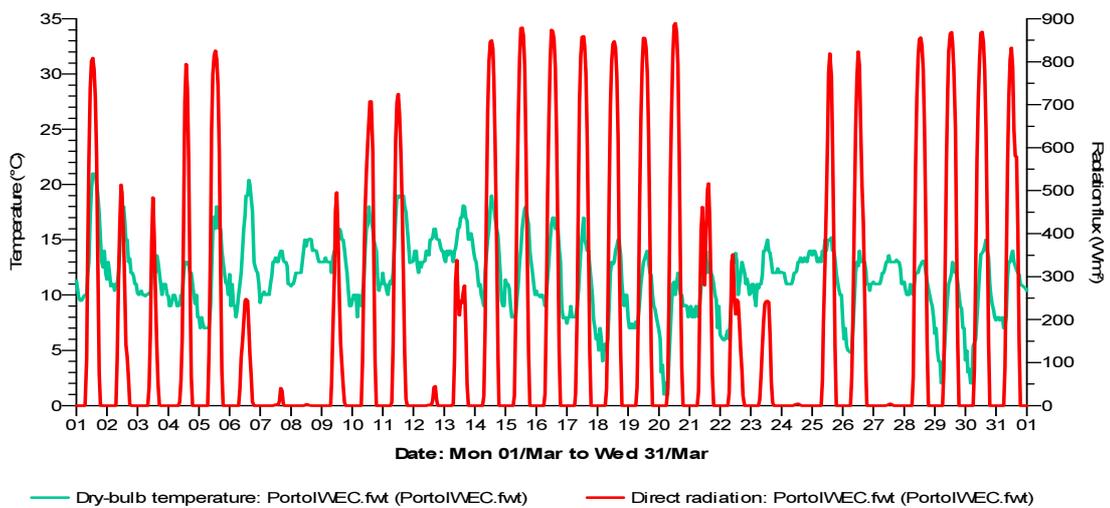


Figura 0.17 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - março

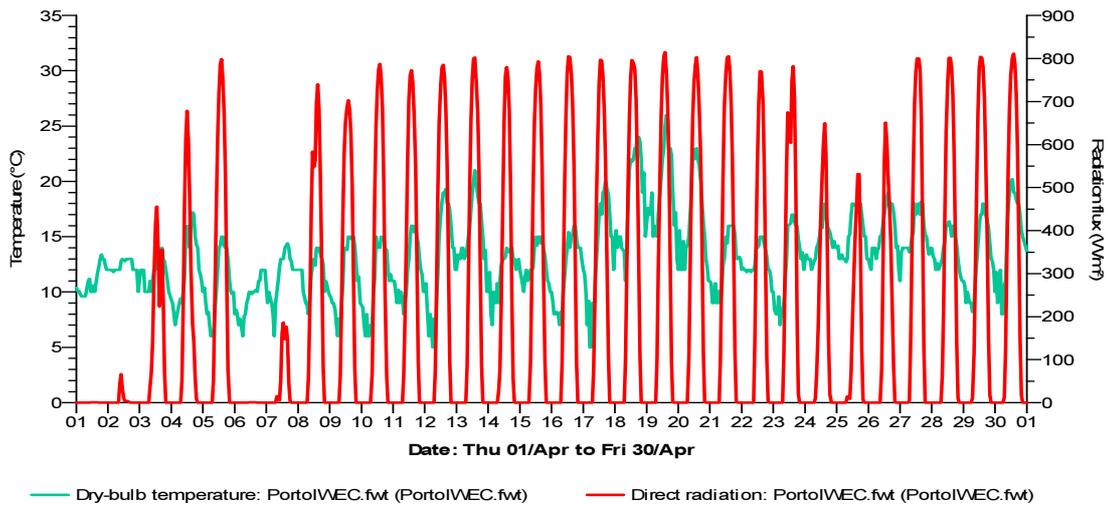


Figura 0.18 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - abril

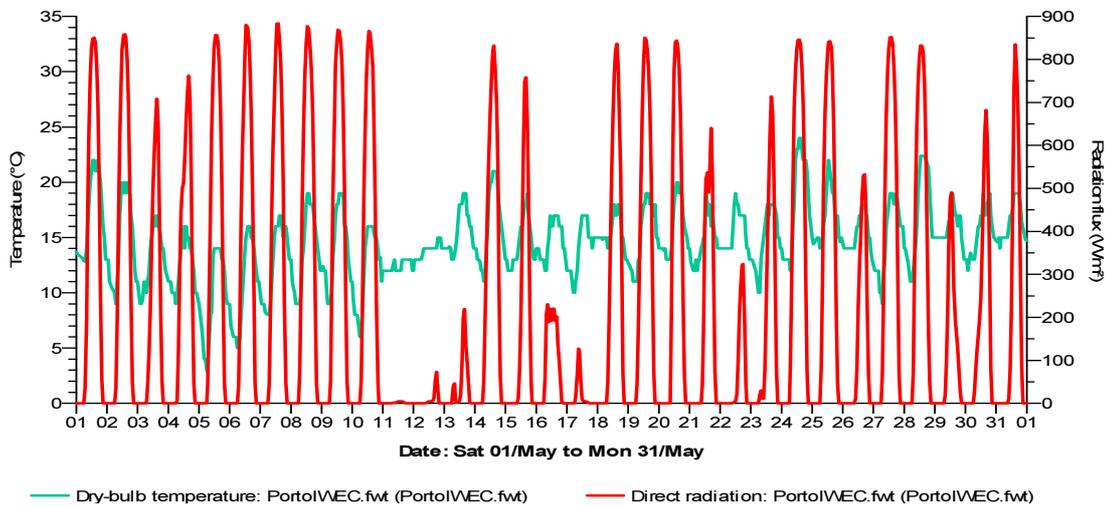


Figura 0.19 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - maio

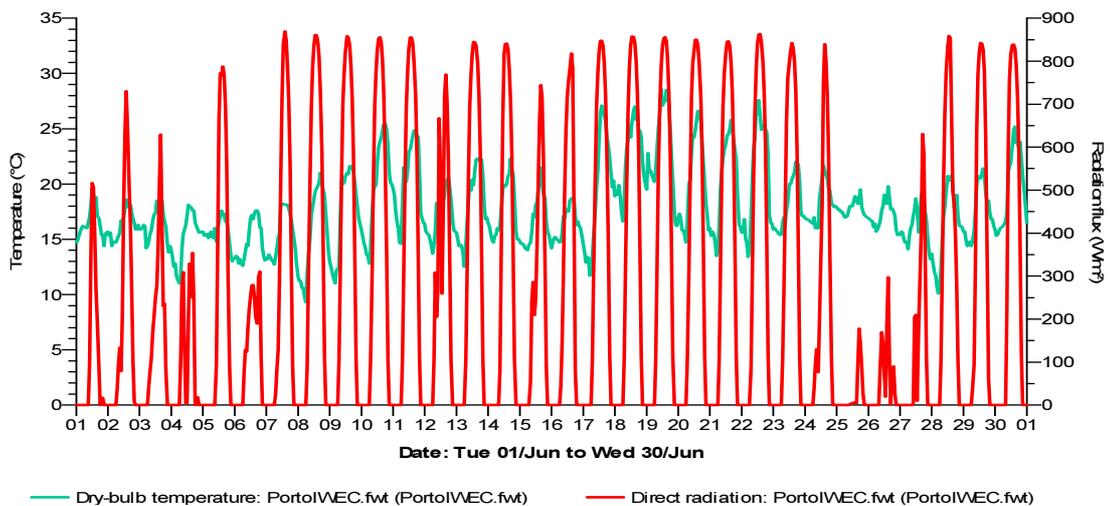


Figura 0.20 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - junho

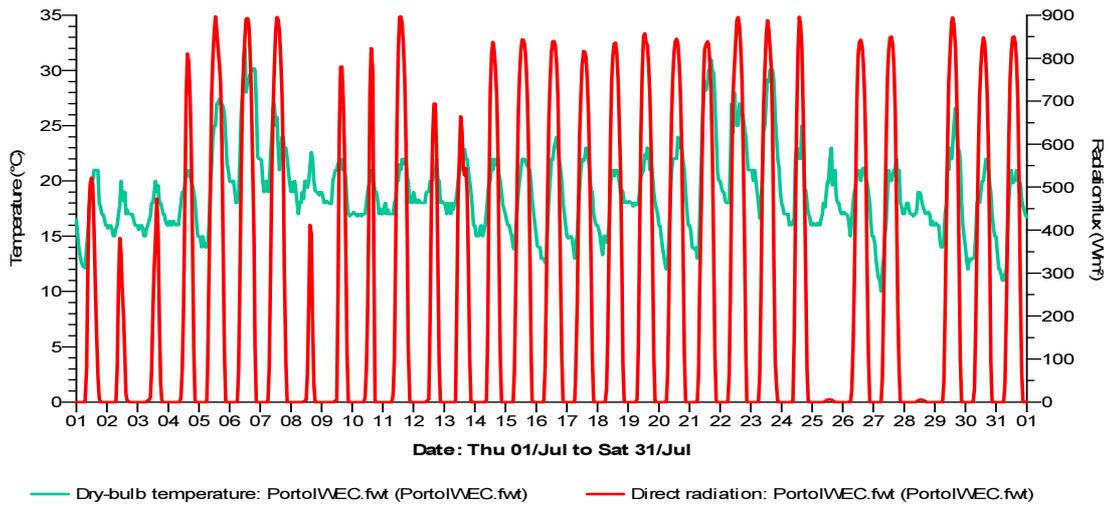


Figura 0.21 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - julho

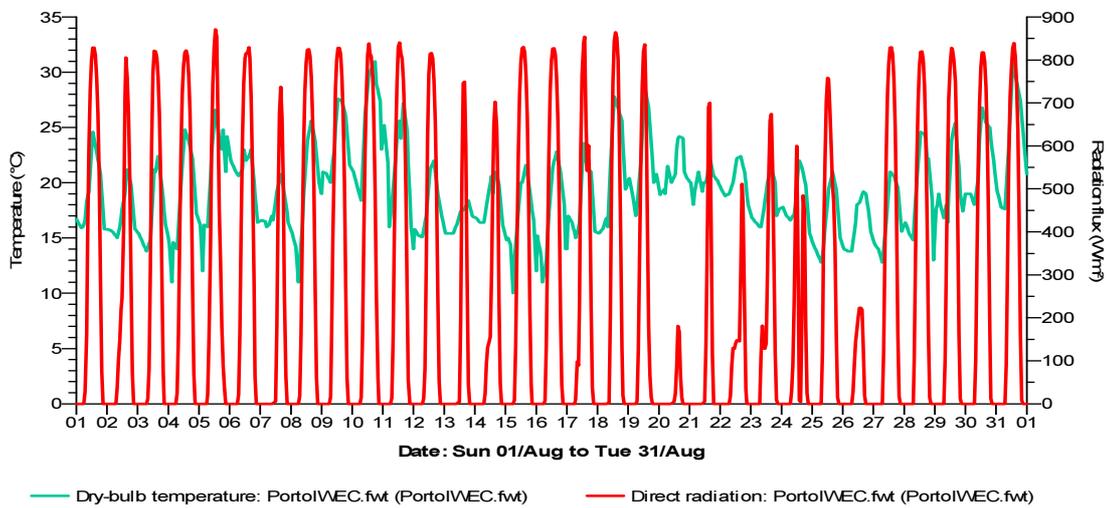


Figura 0.22 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - agosto

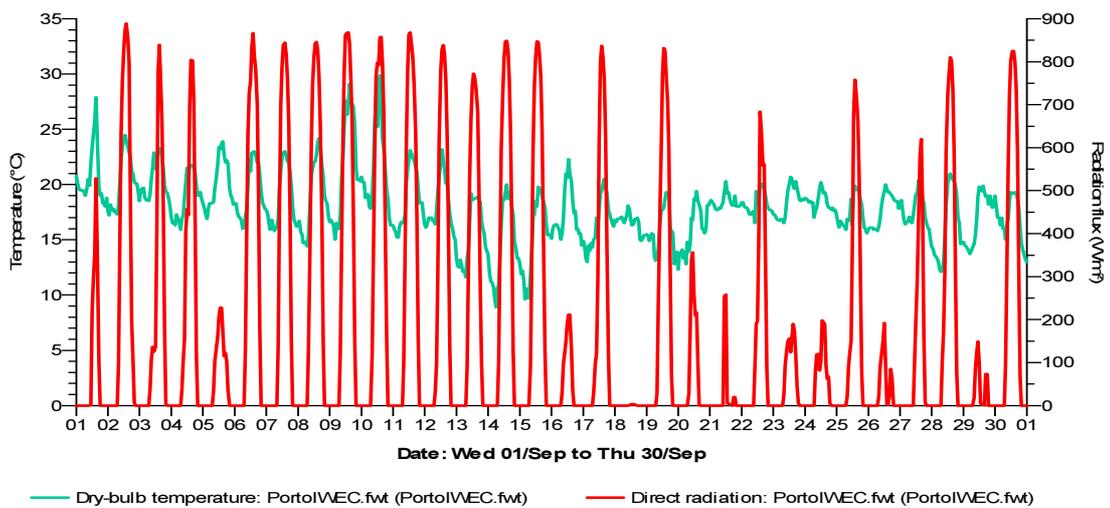


Figura 0.23 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - setembro

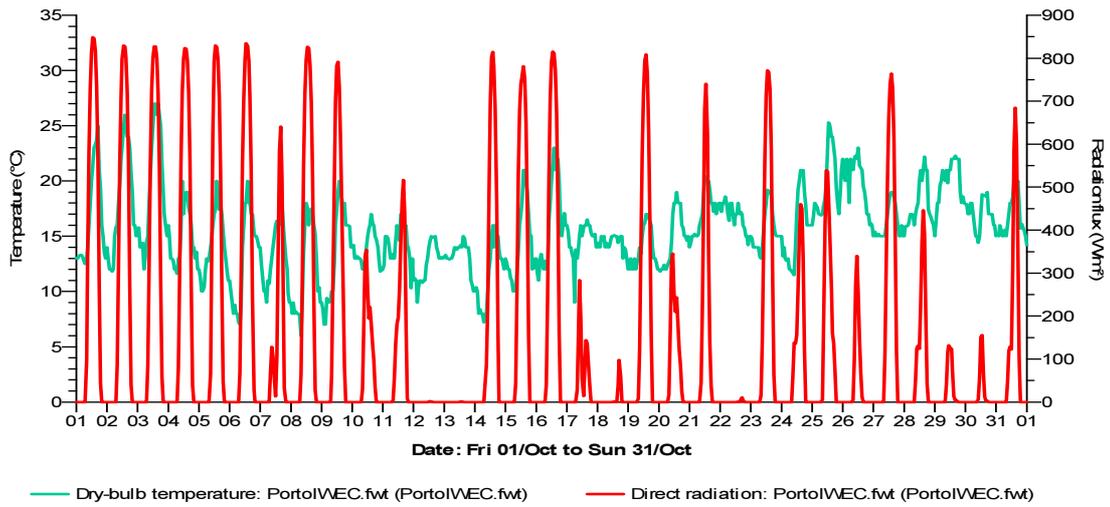


Figura 0.24 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - outubro

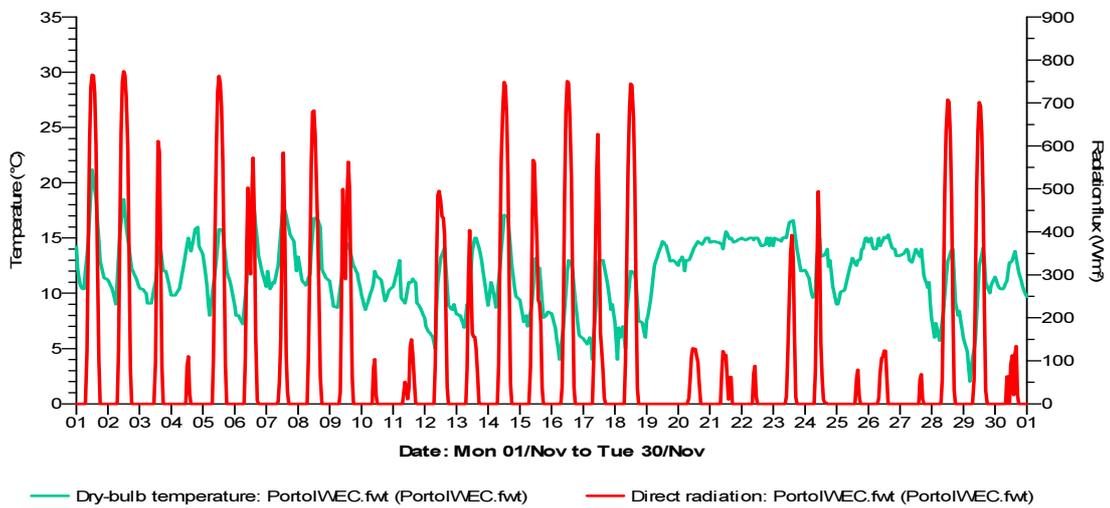


Figura 0.25 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - novembro

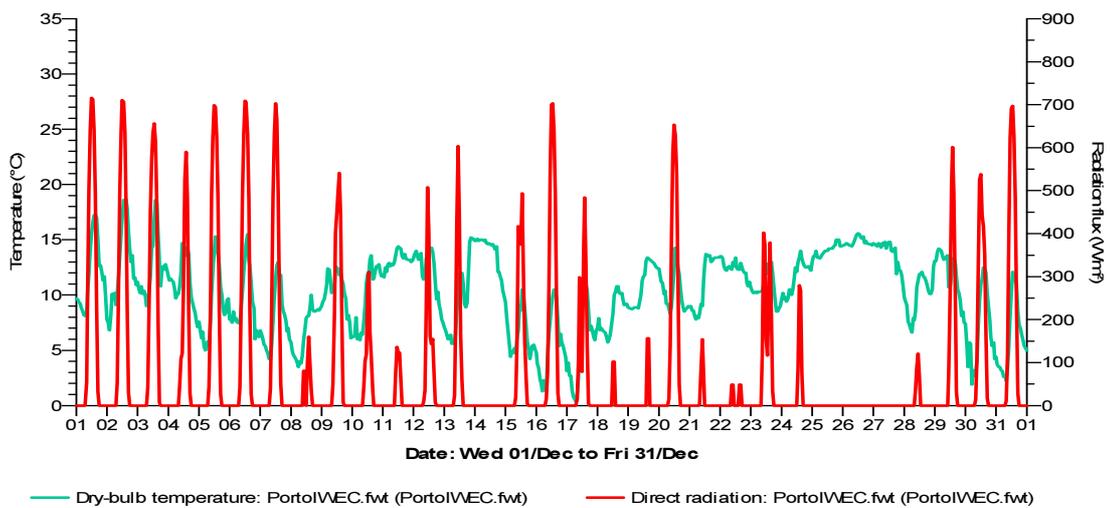


Figura 0.26 - Temperatura exterior e radiação direta (IES) Porto - dezembro

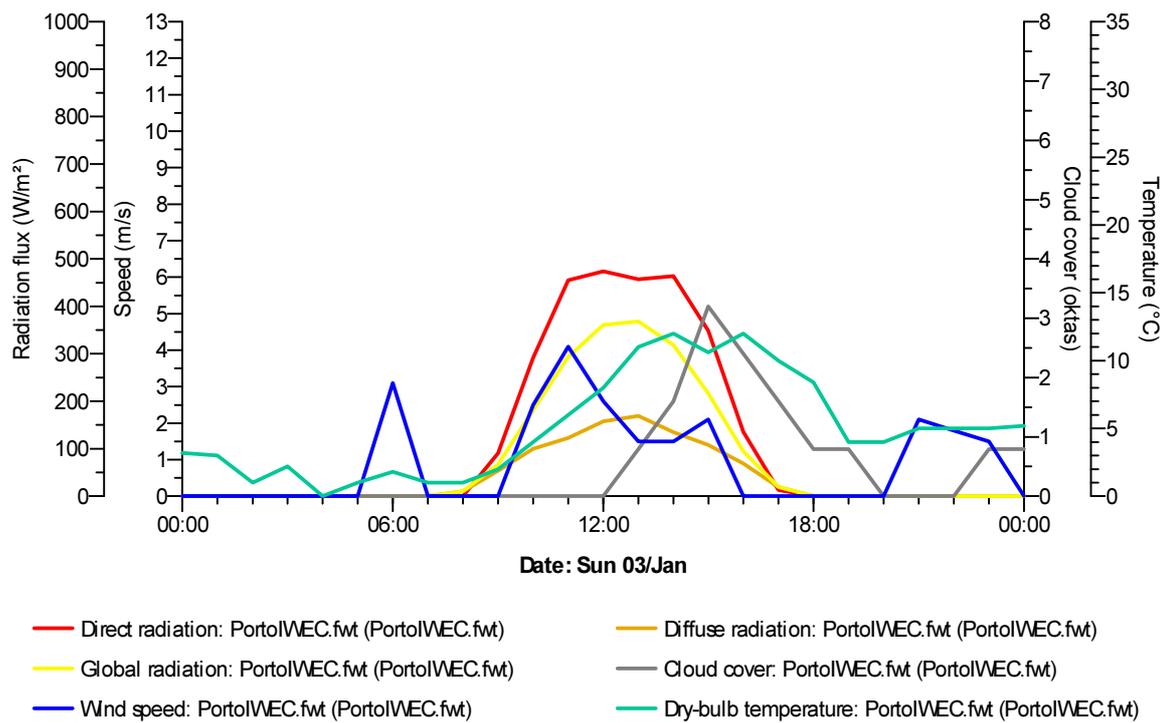


Figura 0.27 - Dados climáticos (IES) Porto - 3 janeiro

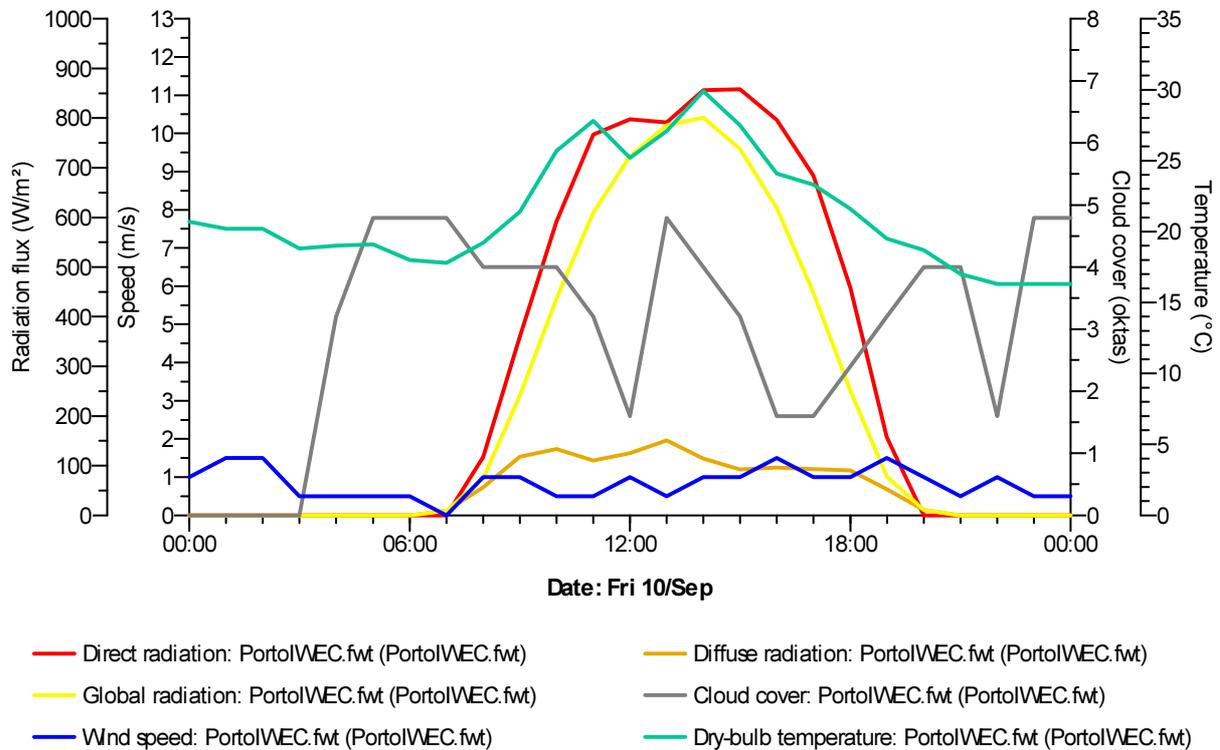


Figura 0.28 - Dados climáticos (IES) Porto - 10 setembro

Anexo IIa

Necessidades de climatização por divisão (IES) Sevilha

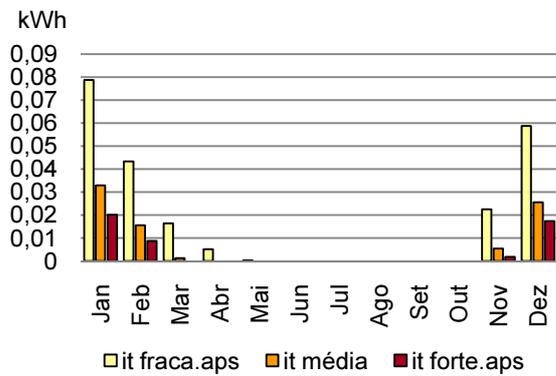


Figura 0.29 - Necessidades de aquecimento - sala - Sevilha

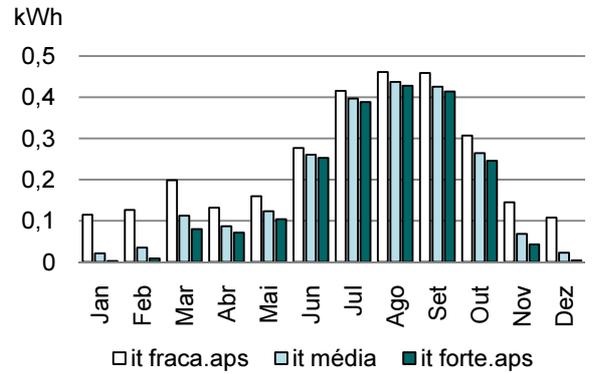


Figura 0.30 - Necessidades de arrefecimento - sala - Sevilha

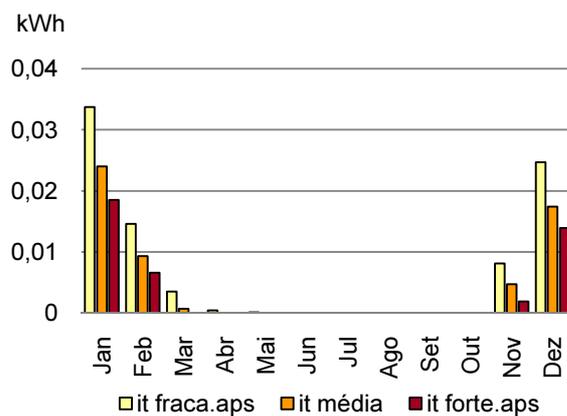


Figura 0.31 - Necessidades de aquecimento - quarto 1 - Sevilha

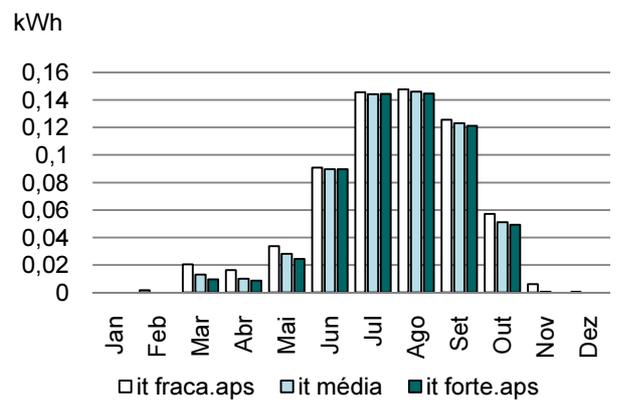


Figura 0.32 - Necessidades de arrefecimento - quarto 1 - Sevilha

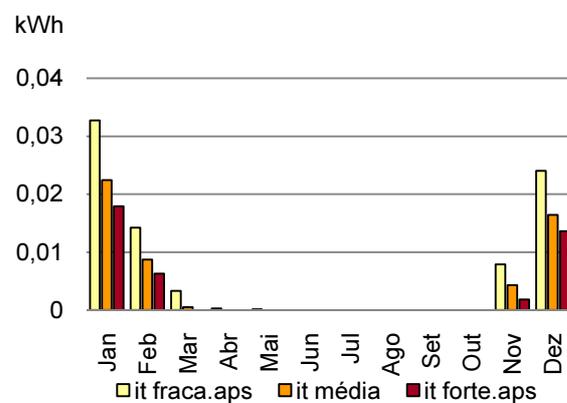


Figura 0.33 - Necessidades de aquecimento - quarto 2 - Sevilha

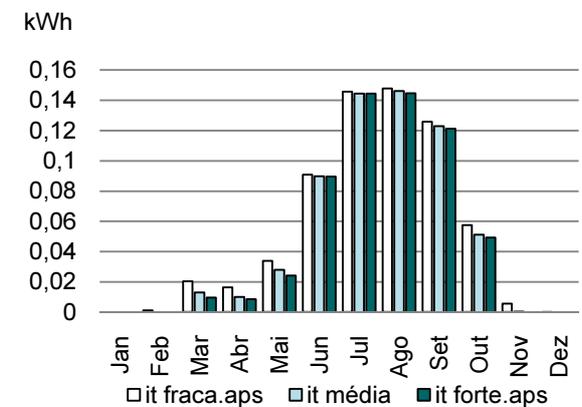


Figura 0.34 - Necessidades de arrefecimento - quarto 2 - Sevilha

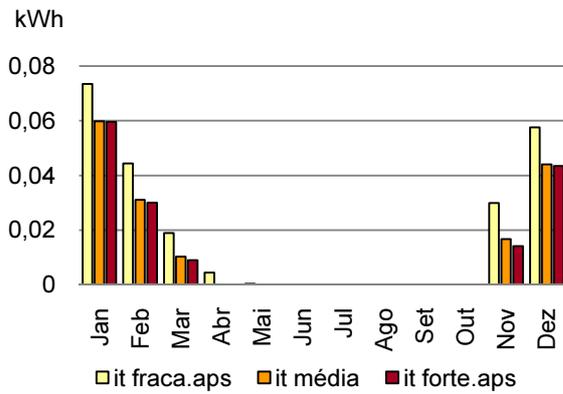


Figura 0.35 - Necessidades de aquecimento - cozinha - Sevilha

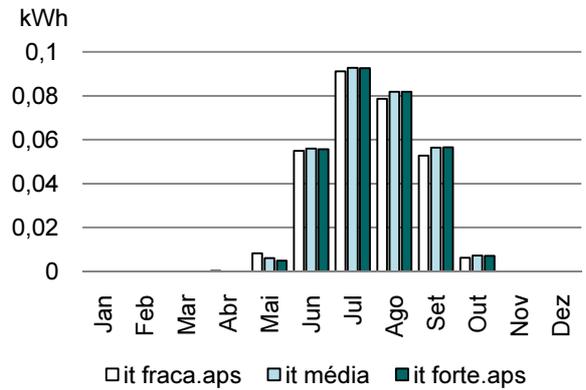


Figura 0.36 - Necessidades de arrefecimento - cozinha - Sevilha

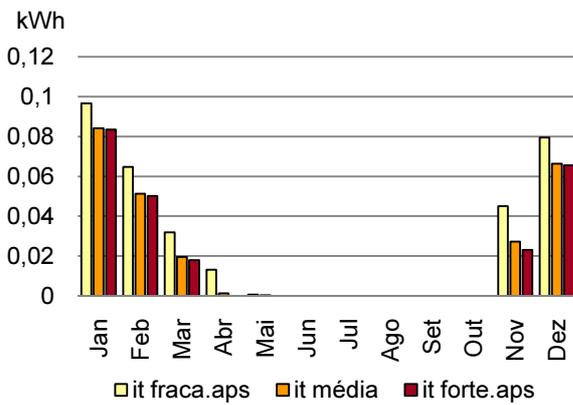


Figura 0.37 - Necessidades de aquecimento - corredor r/c - Sevilha

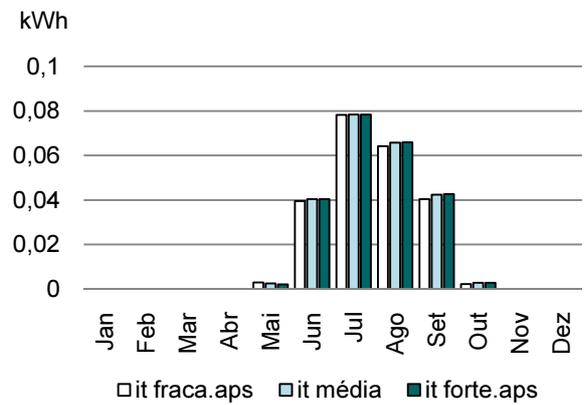


Figura 0.38 - Necessidades de arrefecimento - corredor r/c - Sevilha

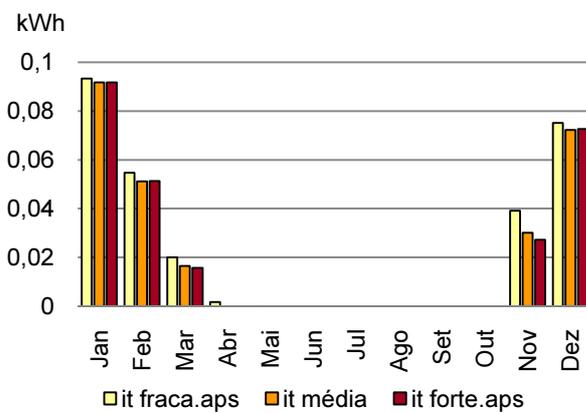


Figura 0.39 - Necessidades de aquecimento - suite - Sevilha

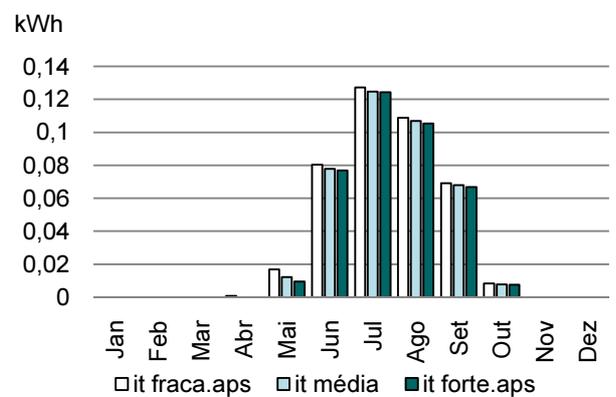


Figura 0.40 - Necessidades de arrefecimento - suite - Sevilha

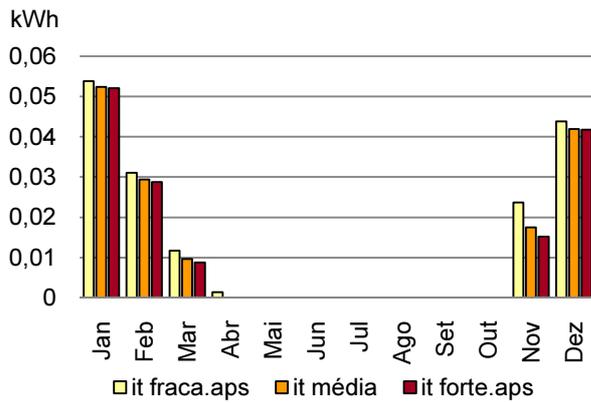


Figura 0.41 - Necessidades de aquecimento - casa de banho - Sevilha

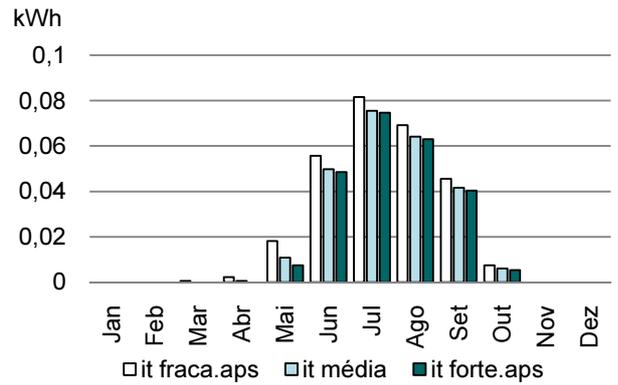


Figura 0.42 - Necessidades de arrefecimento - casa de banho - Sevilha

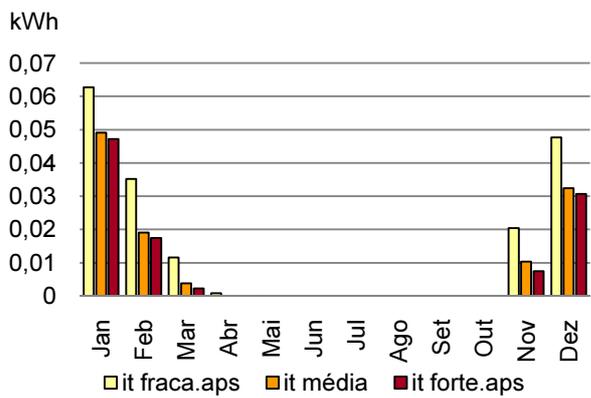


Figura 0.43 - Necessidades de aquecimento - corredor P1 - Sevilha

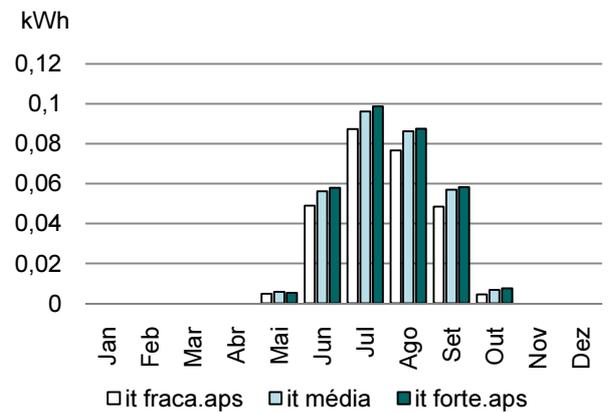


Figura 0.44 - Necessidades de arrefecimento - corredor P1 - Sevilha

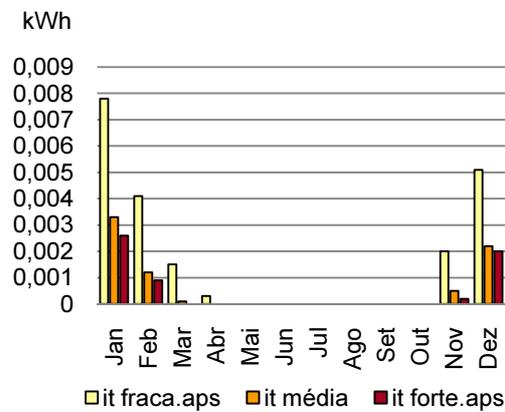


Figura 0.45 - Necessidades de aquecimento - dispensa - Sevilha

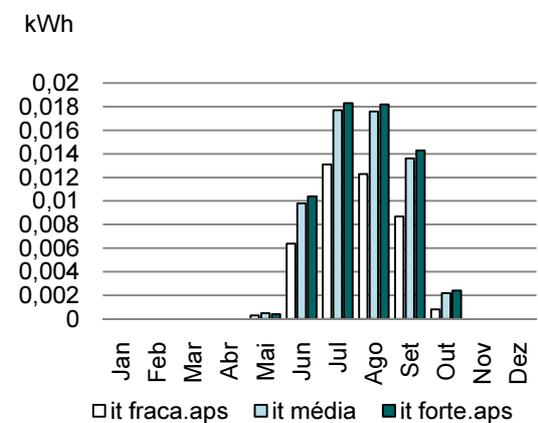


Figura 0.46 - Necessidades de arrefecimento - dispensa - Sevilha

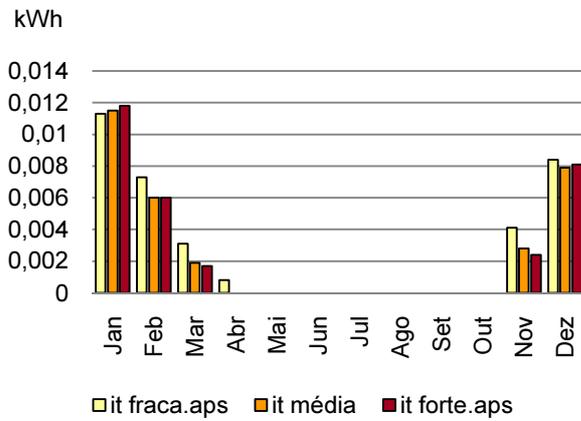


Figura 0.47 - Necessidades de aquecimento - wc - Sevilha

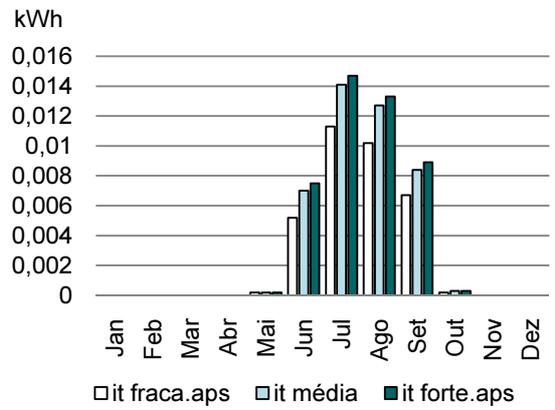


Figura 0.48 - Necessidades de arrefecimento - wc - Sevilha

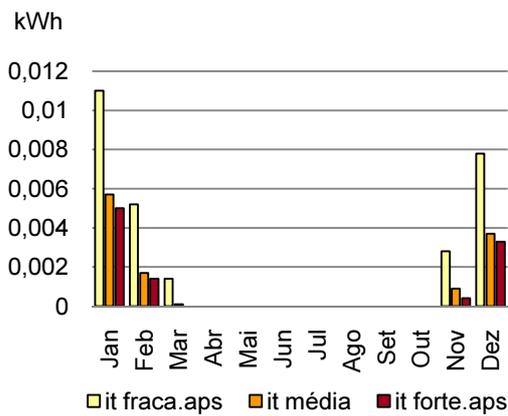


Figura 0.49 - Necessidades de aquecimento - ensuite - Sevilha

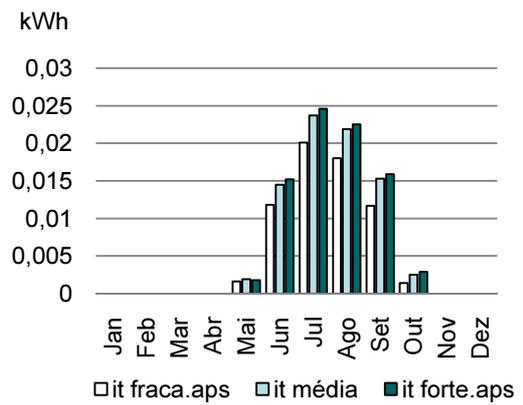


Figura 0.50 - Necessidades de arrefecimento - ensuite - Sevilha

ANEXO IIb

Necessidades de climatização por divisão (IES) Porto

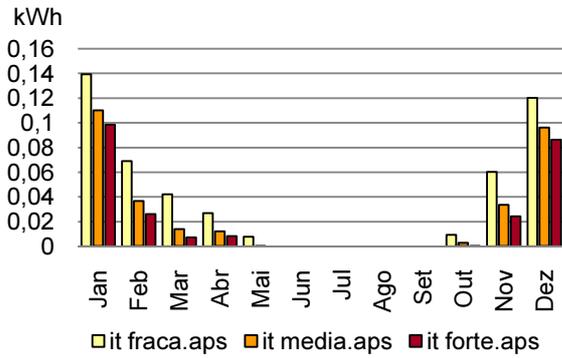


Figura 0.51 - Necessidades de aquecimento - sala - Porto

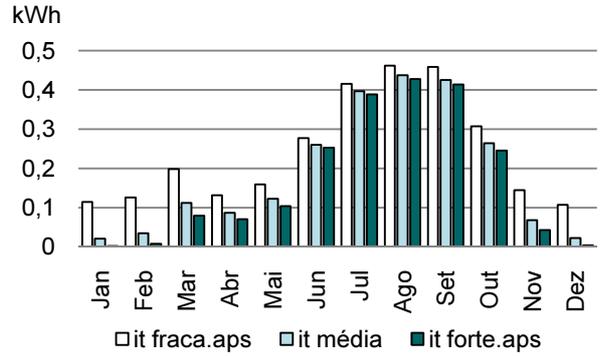


Figura 0.52 - Necessidades de arrefecimento - sala - Porto

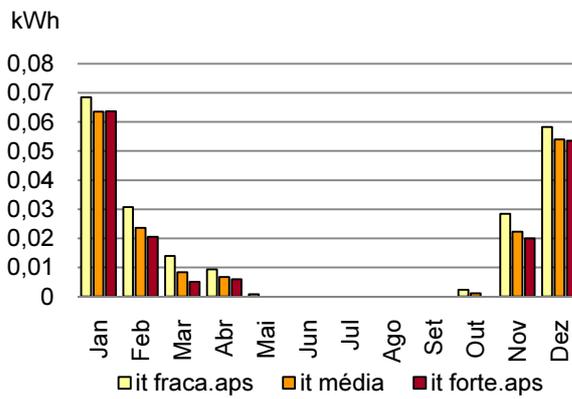


Figura 0.53 - Necessidades de aquecimento - quarto 1 - Porto

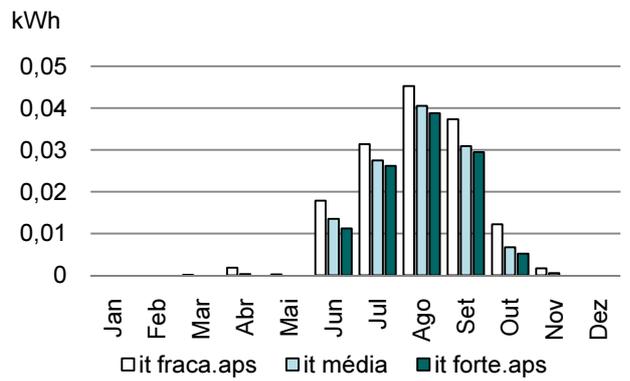


Figura 0.54 - Necessidades de arrefecimento - quarto 1 - Porto

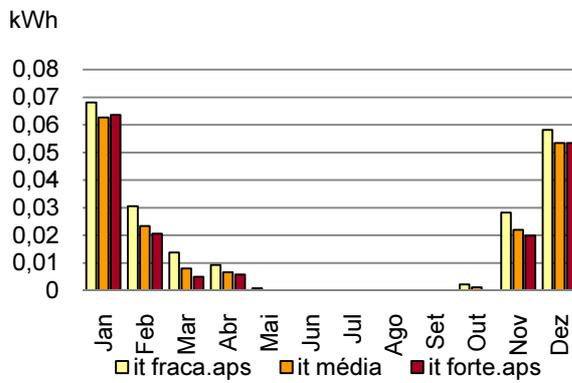


Figura 0.55 - Necessidades de aquecimento - quarto 2 - Porto

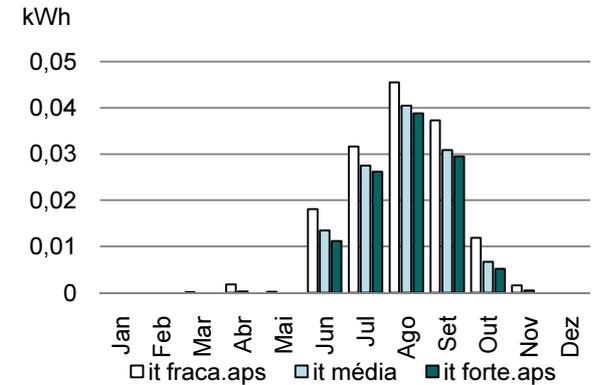


Figura 0.56 - Necessidades de arrefecimento - quarto 2 - Porto

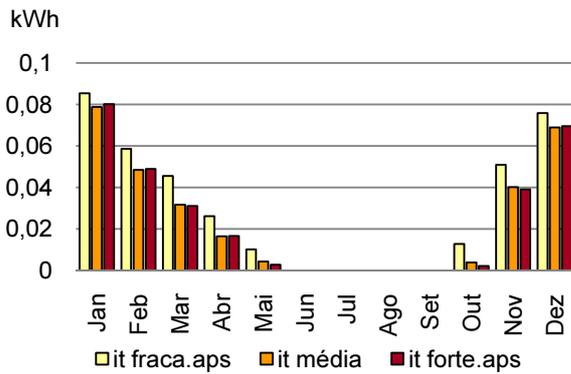


Figura 0.57 - Necessidades de aquecimento - cozinha - Porto

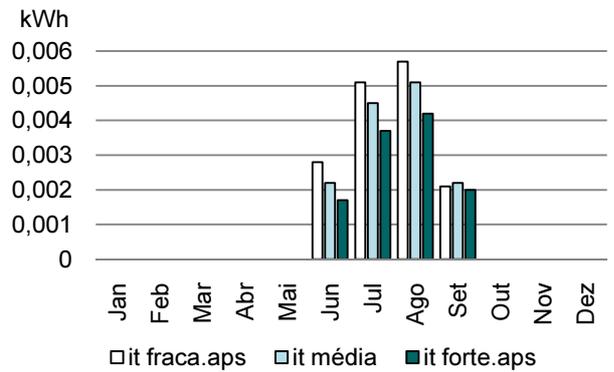


Figura 0.58 - Necessidades de arrefecimento - cozinha - Porto

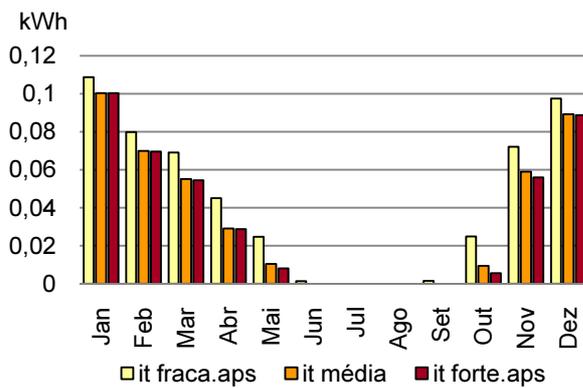


Figura 0.59 - Necessidades de aquecimento - corredor r/c - Porto

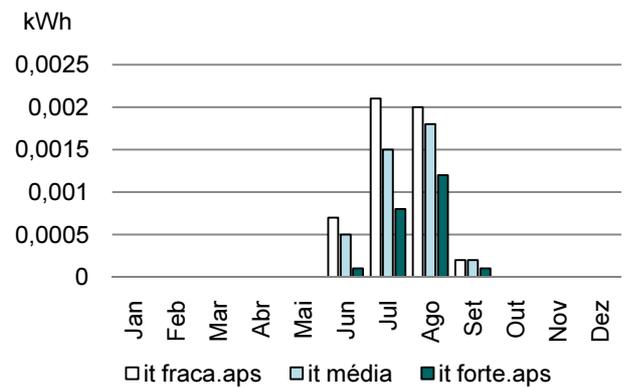


Figura 0.60 - Necessidades de arrefecimento - corredor r/c - Porto

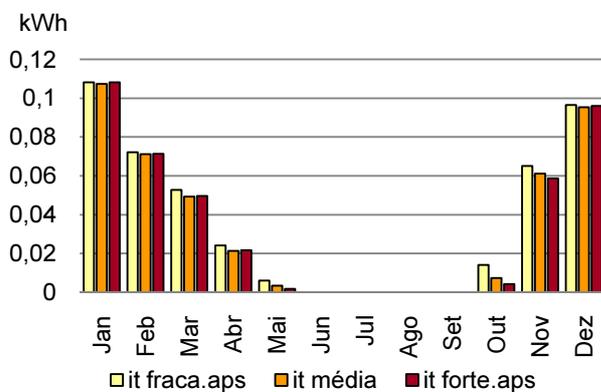


Figura 0.61 - Necessidades de aquecimento - suite - Porto

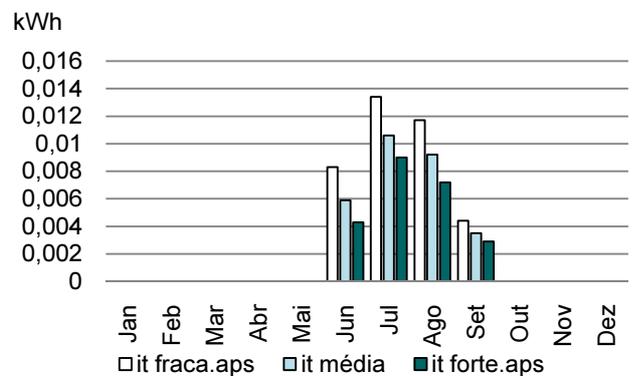


Figura 0.62 - Necessidades de arrefecimento - suite - Porto

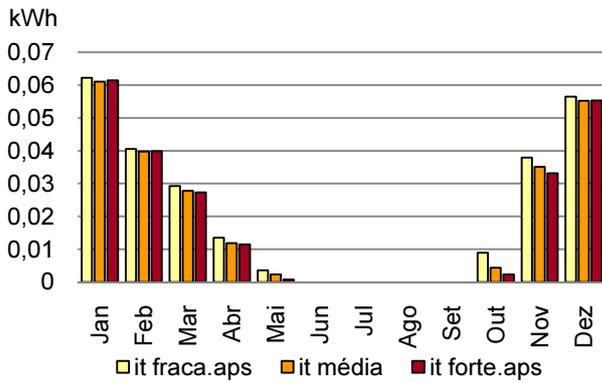


Figura 0.63 - Necessidades de aquecimento - casa de banho - Porto

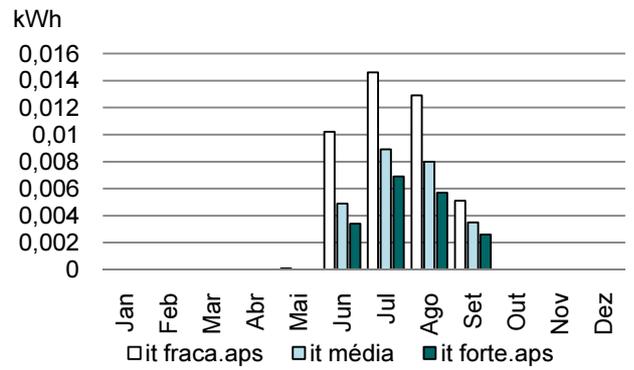


Figura 0.64 - Necessidades de arrefecimento - casa de banho - Porto

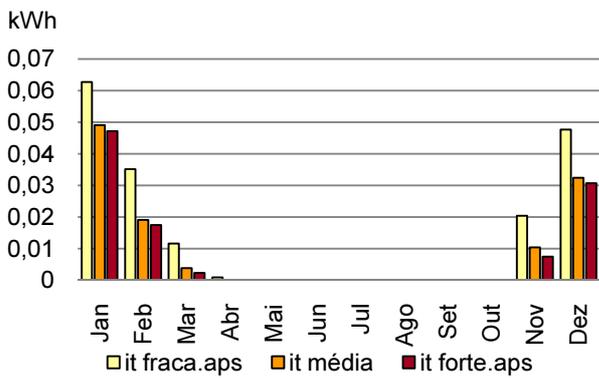


Figura 0.65 - Necessidades de aquecimento - corredor P1 - Porto

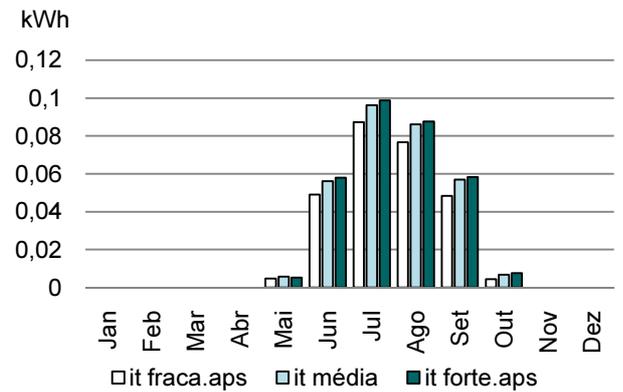


Figura 0.66 - Necessidades de arrefecimento - corredor P1- Porto

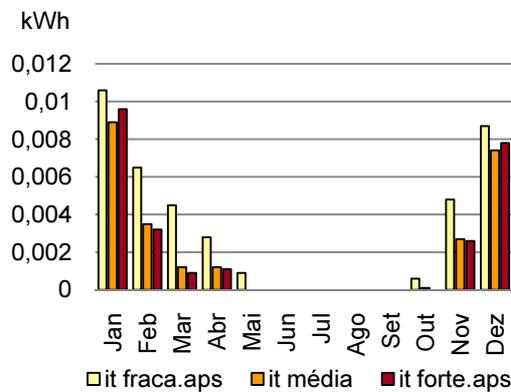


Figura 0.67 - Necessidades de aquecimento - dispensa - Porto

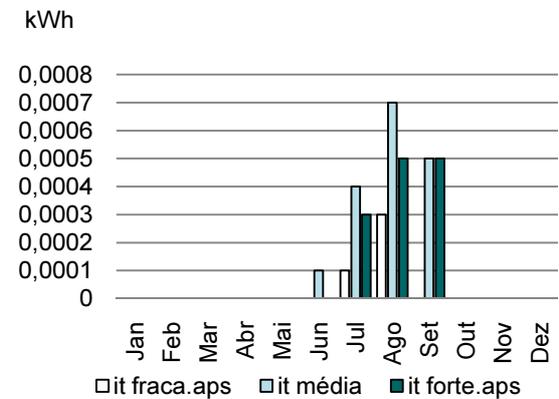


Figura 0.68 - Necessidades de arrefecimento - dispensa - Porto

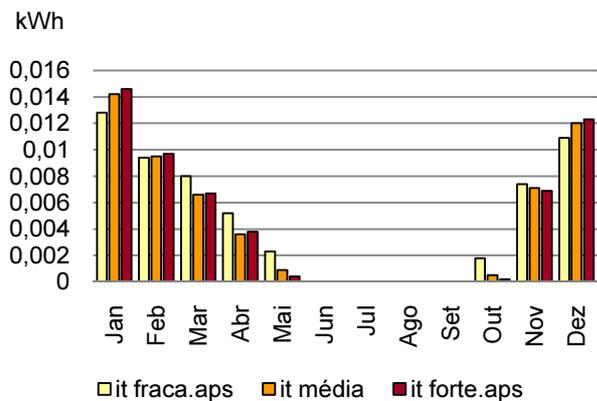


Figura 0.69 - Necessidades de aquecimento - wc - Porto

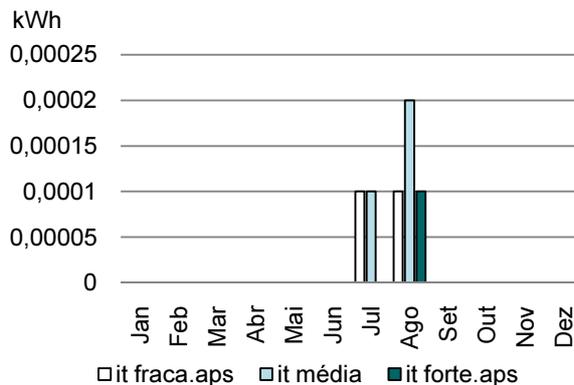


Figura 0.70 - Necessidades de arrefecimento - wc - Porto

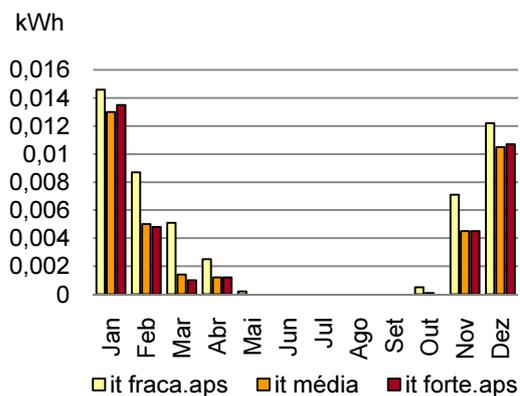


Figura 0.71 - Necessidades de aquecimento - ensuite - Porto

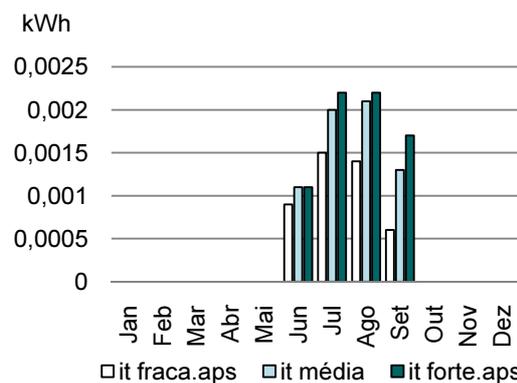


Figura 0.72 - Necessidades de arrefecimento - ensuite - Porto

ANEXO III

**Fichas de cálculo das necessidades de climatização
segundo a metodologia do RCCTE**

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Évora, Porto

Pavimentos exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
TOTAL			

Coberturas exteriores	Area (m ²)	U _{ascendente} (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
TOTAL			

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perimetro B (m)	ψ (W/m ² °C)	ψ.B (W/°C)
Perímetro de pavimento em contacto com o solo, a uma profundidade entre 0 m e 1,20 m em relação ao terreno exterior	29.60	1.50	44.40
TOTAL			44.40

Modelos: IT fraca

Localizações: Évora

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)		5.78
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul})		
no	Continente	
na Zona I	1 (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	108
		x
Duração da Estação de Aquecimento	(meses)	5.70
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		3555.29

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício		
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4 (W/m ²)	
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		5.7 (meses)	
		x	
Área Útil de pavimento		106.64 (m ²)	
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1750.60 (kWh/ano)	

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma =$	$\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	$\frac{5305.89}{10042.45}$
Inércia do edifício:	Fraca	$\gamma = 0.528$
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0.820
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		5305.89
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		4352.47

Modelos: IT média

Localizações: Évora

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)		5.78
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul})		
no	Contínente	
na Zona I	1 (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	108
		x
Duração da Estação de Aquecimento	(meses)	5.70
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		3555.29

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício		
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4 (W/m ²)	
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		5.7 (meses)	
		x	
Área Útil de pavimento		106.64 (m ²)	
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1750.60 (kWh/ano)	

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma =$	$\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	$\frac{5305.89}{9818.73}$
Inércia do edifício:	Média	$\gamma = 0.540$
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0.896
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		5305.89
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		4753.38

Modelos: IT forte

Localizações: Évora

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)		5.78
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) no <input type="text" value="Continente"/>		
na Zona I <input type="text" value="1"/> (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)		108
		x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		5.70
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		3555.29

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício		
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4	(W/m ²)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		5.7	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		106.64	(m ²)
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1750.60	(kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$		5305.89
		9479.20
Inércia do edifício: <input type="text" value="Forte"/>	$\gamma =$	0.560
Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)		0.960
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		5305.89
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		5091.21

Modelos: IT fraca

Localizações: Porto

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)		<input type="text" value="5.78"/>
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) no <input type="text" value="Contínente"/>		
na Zona I <input type="text" value="2"/> (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)		<input type="text" value="93"/>
		x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		<input type="text" value="6.70"/>
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		<input type="text" value="3598.60"/>

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício	
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	<input type="text" value="Residencial"/>	<input type="text" value="4"/> (W/m ²)
		x
Duração da Estação de Aquecimento		<input type="text" value="6.7"/> (meses)
		x
Área Útil de pavimento		<input type="text" value="106.64"/> (m ²)
		x
		<input type="text" value="0.72"/>
		=
Ganhos Internos Brutos		<input type="text" value="2057.73"/> (kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$		<input type="text" value="5656.33"/>
		<input type="text" value="11631.90"/>
Inércia do edifício: <input type="text" value="Fraca"/>	$\gamma =$	<input type="text" value="0.486"/>
Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)		<input type="text" value="0.838"/>
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		<input type="text" value="5656.33"/>
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		<input type="text" value="4741.06"/>

Modelos: IT média

Localizações: Porto

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)		5.78
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul})		
no	Continente	
na Zona I	2 (kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	93
		x
Duração da Estação de Aquecimento	(meses)	6.70
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		3598.60

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício		
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4 (W/m²)	
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		6.7 (meses)	
		x	
Área Útil de pavimento		106.64 (m²)	
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		2057.73 (kWh/ano)	

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma =$	$\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	$\frac{5656.33}{11372.78}$
Inércia do edifício:	Média	$\gamma = 0.497$
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0.911
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		5656.33
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		5153.09

Modelos: IT forte

Localizações: Porto

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)		5.78
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul})		
no	Contínente	
na Zona I	2 (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	93
		x
Duração da Estação de Aquecimento	(meses)	6.70
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		3598.60

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício		
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4 (W/m ²)	
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		6.7 (meses)	
		x	
Área Útil de pavimento		106.64 (m ²)	
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		2057.73 (kWh/ano)	

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma =$	$\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	$\frac{5656.33}{10979.50}$
Inércia do edifício:	Forte	$\gamma = 0.515$
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0.969
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		5656.33
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		5481.61

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	<i>m²</i>
Paredes Exteriores	50.71
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	
Envidraçados Exteriores	16.25
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. τ)</i>	
Paredes Interiores	55.73
Coberturas Interiores	47.99
Pavimentos Interiores	
Envidraçados Interiores	
<i>Área Total:</i>	170.68
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	/
	287.93
	=
FF	0.59
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF ≤ 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF ≤ 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	64.18

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	<i>m²</i>
Paredes Exteriores	50.71
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	
Envidraçados Exteriores	16.25
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. τ)</i>	
Paredes Interiores	55.73
Coberturas Interiores	47.99
Pavimentos Interiores	
Envidraçados Interiores	
<i>Área Total:</i>	170.68
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	287.93
	=
FF	0.59
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1610
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF ≤ 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF ≤ 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	73.62

Modelos: IT fraca

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	96.82
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	83.97
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	32.13
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	88.11
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	301.03
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	10,042.45
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	4,352.47
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	5689.97
	/
Área Útil de pavimento (m²)	106.64
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	53.36
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	64.18

Modelos: IT média

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	94.11
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	79.98
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	32.13
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	88.11
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	294.33
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9,818.73
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	4,753.38
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	5065.35
	/
Área Útil de pavimento (m²)	106.64
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	47.50
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	64.18

Modelos: IT forte

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	87.93
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	75.98
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	32.13
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	88.11
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	284.15
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9,479.20
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	5,091.21
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	4387.99
	/
Área Útil de pavimento (m²)	106.64
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	41.15
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	64.18

Modelos: IT fraca

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	96.82
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	83.97
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	32.13
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	88.11
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	301.03
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1610
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	11,631.90
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	4,741.06
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6890.84
	/
Área Útil de pavimento (m²)	106.64
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	64.62
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	73.62

Modelos: IT média

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	94.11
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	79.98
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	32.13
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	88.11
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	294.33
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1610
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	11,372.78
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	5,153.09
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6219.69
	/
Área Útil de pavimento (m²)	106.64
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	58.32
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	73.62

Modelos: IT forte

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	87.93
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	75.98
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	32.13
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	88.11
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	284.15
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1610
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	10,979.50
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	5,481.61
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	5497.89
	/
Área Útil de pavimento (m²)	106.64
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	51.56
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	73.62

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	31.06	(W/C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		(W/C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		(W/C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	32.13	(W/C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	88.11	(W/C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	151.30	(W/C)

Zona climática

V	3	S
---	---	---

Temperatura interior de referência

25 (°C)

-

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento

23 (°C)

(Quadro III.9)

=

Diferença de temperatura interior-exterior

2 (°C)

x

Perdas específicas totais

(Q1a) 151.30 (W/C)

x

2.928

=

Perdas térmicas totais

(Q1b) 885.99 (kWh)

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	31.06	(W/C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		(W/C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		(W/C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	32.13	(W/C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	88.11	(W/C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	151.30	(W/C)

Zona climática

V	1	N
---	---	---

Temperatura interior de referência

25 (°C)

-

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento
(Quadro III.9)

19 (°C)

=

Diferença de temperatura interior-exterior

6 (°C)

x

Perdas específicas totais

(Q1a) 151.30 (W/C)

x

2.928

=

Perdas térmicas totais

(Q1b) 2657.96 (kWh)

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FCV/1c

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

		POR ORIENTAÇÃO											
		N	N	S	N	N	N	S	N	S	N	N	N
		6,70	8,74	6,87	4,17	2,70	3,87	6,87	2,00				
U (W/m ² C)		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
α U.A		1,27	1,47	1,92	1,51	0,92	0,99	1,51	1,51	3,46			
Int. de rad. solar na estação de arefec. (Wh/m ²) (Quadro III.3)		200	200	380	200	200	200	380	200	380	200	200	200
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		10,17	11,77	28,17	12,07	7,32	4,74	22,93	22,93	27,36			

Orientação
Área, A (m²)

U (W/m²C)

Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)

α U.A

Int. de rad. solar na estação de arefec. (Wh/m²) (Quadro III.3)

Ganhos solares pela envolvente opaca exterior

Orientação
Área, A (m²)

U (W/m²C)

Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)

α U.A

Int. de rad. solar na estação de arefec. (Wh/m²) (Quadro III.3)

Ganhos solares pela envolvente opaca exterior

Orientação
Área, A (m²)

U (W/m²C)

Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)

α U.A

Int. de rad. solar na estação de arefec. (Wh/m²) (Quadro III.3)

Ganhos solares pela envolvente opaca exterior

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Porto

Ganhos Solares pela Envoltura Opaca

POR ORIENTAÇÃO							
-	-	-	-	-	-	-	-
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
=	=	=	=	=	=	=	=
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos solares pela envoltura opaca exterior							

HORIZONTAL							
-	-	-	-	-	-	-	-
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
=	=	=	=	=	=	=	=
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
=	=	=	=	=	=	=	=
TOTAL							
253,73							

Orientação:
 Área, A (m²)
 U (W/m²°C)
 Coeficiente de absorção, α (Quadro I.3)
 g U A

Inc. de rad solar re. à superfície de arrefec. (kWh/m²) (Quadro III.9)

Ganhos solares pela envoltura opaca exterior

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Évora, Porto

Folha de Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m^2) (<i>Quadro IV.3</i>)	4.00
	x
Área útil de pavimento (m^2)	106.64
	x
	2.928
	=
Ganhos Internos totais	1248.97 (kWh)

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	2256.02	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	156.39	(kWh)
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	1248.97	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		3661.38	(kWh)

Modelos: IT fraca, IT média, IT forte

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	2144.35	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	148.75	(kWh)
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	1248.97	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		3542.07	(kWh)

Modelos: IT fraca

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	3661.38 (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	885.99 (kWh)
	=
γ	4.13
Inércia do edifício	Fraca
<hr/>	
	1
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0.23
	=
	0.77
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	3661.38 (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	2828.62 (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$) (kWh)
	=
TOTAL	2828.62 (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	106.64
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	26.52 (kWh/ m^2 .ano)
	\leq
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	32 (kWh/ m^2 .ano)

Modelos: IT média

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	3661.38 (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	885.99 (kWh)
	=
γ	4.13
Inércia do edifício	Média
<hr/>	
	1
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0.24
	=
	0.76
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	3661.38 (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	2792.28 (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$ (kWh))
	=
TOTAL	2792.28 (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	106.64
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	26.18 (kWh/ m^2 .ano)
	\leq
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	32 (kWh/ m^2 .ano)

Modelos: IT forte

Localizações: Évora

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3661.38"/> (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text" value="885.99"/> (kWh)
	=
γ	<input type="text" value="4.13"/>
Inércia do edifício	<input type="text" value="Forte"/>
<hr/>	
	<input type="text" value="1"/>
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text" value="0.24"/>
	=
	<input type="text" value="0.76"/>
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3661.38"/> (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text" value="2777.13"/> (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<input type="text" value=""/> ($E_v = P_v * 24 * 122 / 1000$ (kWh))
	=
TOTAL	<input type="text" value="2777.13"/> (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	<input type="text" value="106.64"/>
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	<input type="text" value="26.04"/> (kWh/ m^2 .ano)
	\leq
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	<input type="text" value="32"/> (kWh/ m^2 .ano)

Modelos: IT fraca

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3542.07"/> (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text" value="2657.96"/> (kWh)
	=
γ	<input type="text" value="1.33"/>
Inércia do edifício	<input type="text" value="Fraca"/>
<hr/>	
	<input type="text" value="1"/>
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text" value="0.55"/>
	=
	<input type="text" value="0.45"/>
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3542.07"/> (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text" value="1600.27"/> (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<input type="text" value="0"/> ($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$ (kWh))
	=
TOTAL	<input type="text" value="1600.27"/> (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	<input type="text" value="106.64"/>
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	<input type="text" value="15.01"/> (kWh/ m^2 .ano)
	\leq
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	<input type="text" value="16"/> (kWh/ m^2 .ano)

Modelos: IT média

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	3542.07 (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	2657.96 (kWh)
	=
γ	1.33
Inércia do edifício	Média
<hr/>	
	1
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0.61
	=
	0.39
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	3542.07 (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	1372.14 (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$ (kWh))
	=
TOTAL	1372.14 (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	106.64
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	12.87 (kWh/ m^2 .ano)
	\leq
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	16 (kWh/ m^2 .ano)

Modelos: IT forte

Localizações: Porto

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3542.07"/> (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text" value="2657.96"/> (kWh)
	=
γ	<input type="text" value="1.33"/>
Inércia do edifício	<input type="text" value="Forte"/>
<hr/>	
	<input type="text" value="1"/>
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text" value="0.68"/>
	=
	<input type="text" value="0.32"/>
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3542.07"/> (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text" value="1140.28"/> (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<input type="text" value=""/> ($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$ (kWh))
	=
TOTAL	<input type="text" value="1140.28"/> (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	<input type="text" value="106.64"/>
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	<input type="text" value="10.69"/> (kWh/ m^2 .ano)
	≤
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	<input type="text" value="16"/> (kWh/ m^2 .ano)

