



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**Faculdade de Ciências e Tecnologia
Instituto Superior de Engenharia**

Avaliação do desempenho energético e ambiental de uma casa ecológica em Moura - Portugal

Ana Sofia Mendes Poeiras da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energias
Renováveis e Gestão da Energia

Março de 2012

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**Faculdade de Ciências e Tecnologia
Instituto Superior de Engenharia**

Avaliação do desempenho energético e ambiental de uma casa ecológica em Moura - Portugal

Ana Sofia Mendes Poeiras da Silva

Dissertação apresentada à Universidade do Algarve para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis e Gestão da Energia, realizada sob orientação científica do Professor Armando Inverno, Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve e coorientação do Professor Doutor Celestino Ruivo, Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve.

Março de 2012

AGRADECIMENTOS

Este mestrado que culmina com a realização da presente dissertação resultou da minha vontade em dotar-me de mais uma ferramenta para um mercado de trabalho cada vez mais exigente e competitivo, para além de dar continuidade ao meu percurso académico. Mas sem a presença e auxílio de algumas pessoas, teria sido impossível.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu professor e orientador, Armando Inverno, que foi absolutamente fundamental para a realização deste trabalho. As palavras não são suficientes para expressar a minha gratidão por todo o auxílio prestado durante todo o trabalho e pelo incentivo sempre que necessário. Vai ser sempre um modelo na minha vida pelo seu enorme profissionalismo e qualidades humanas.

Quero também agradecer ao professor Celestino Ruivo pela sua disponibilidade em orientar este trabalho e pelas suas preciosas sugestões.

Agradeço ao Nuno Sidónio da empresa Lógica, SA por me ter proporcionado a oportunidade de estudar a casa protótipo e ter facilitado o contacto com a empresa responsável pelo sistema construtivo. Agradeço ao Luís Pacheco da Lógica, SA pela ajuda inicial no *software*.

Agradeço ao Arq.º Pedro Vilela por toda a informação que me facultou relativamente ao sistema Soliterm+.

Agradeço à Sílvia Graça e ao Eng.º Miguel Tavares por me terem permitido flexibilizar o horário no trabalho de modo a poder frequentar as aulas e desenvolver a tese.

Agradeço aos meus pais, Francisco e Mariana Poeiras por tudo o que sempre fizeram por mim, pelas oportunidades que me proporcionaram e por me terem ensinado a ser quem sou.

Finalmente, quero agradecer ao meu marido e amigo, Bruno Silva, que bastante me incentivou para realizar este mestrado e que me apoia incondicionalmente em todas as minhas decisões. Obrigada por me fazeres feliz todos os dias.

RESUMO

O facto do homem passar grande parte do tempo dentro dos edifícios com exigências de conforto crescentes justificam em parte a razão dos elevados consumos de energia.

Como tal, é fundamental continuar a desenvolver tecnologias na área das energias renováveis aplicadas aos edifícios e alternativas ao nível dos materiais de construção, para que o desempenho global do edifício seja eficaz, garantindo-se as condições de conforto térmico e a qualidade do ar interior com elevada eficiência energética e com reduzido impacte ambiental. Neste trabalho estuda-se o comportamento térmico e o desempenho ambiental (ao nível das emissões de dióxido de carbono) de uma casa protótipo construída de acordo com o sistema SOLITERM+ composto basicamente por perfis metálicos ultraleves e placas de poliestireno e betão. Para além deste sistema construtivo inovador, também é utilizada a energia solar como fonte de energia.

Relativamente ao comportamento térmico determinam-se as cargas térmicas e estimam-se os parâmetros de conforto térmico com recurso ao programa de simulação dinâmica *Trnsys*. Os sistemas de climatização adotados no estudo são também simulados considerando diferentes estratégias de funcionamento com vista à identificação dos períodos em que as condições de conforto ideal possam não estar satisfeitas, à obtenção da estimativa do consumo de energia e à averiguação das soluções que conduzem a um uso mais racional da energia. No que respeita à avaliação da componente ambiental é feito um estudo da qualidade do ar interior e uma análise do ciclo de vida da casa protótipo.

A análise dos resultados permite detetar os pontos fracos e os pontos fortes do sistema casa protótipo e identificar algumas medidas de melhoria do mesmo que potenciem o aumento da eficiência energética e a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, reduzindo o seu impacte ambiental.

Palavras-chave: Casa ecológica, eficiência energética, trocas térmicas, parâmetros de conforto, qualidade do ar interior, modelação energética, pegada ecológica.

ABSTRACT

The fact that people spend so much of their time inside buildings with increased demands for comfort, partly justifies the reason for the high energy consumption.

Therefore, it is essential to continue the development of technologies in the renewable energies area, applied to buildings and alternative building materials, so that the overall performance of the building is effective, ensuring the conditions for thermal comfort and indoor air quality with high efficiency and low environmental impact. This study focuses on the thermal and environmental performance (the level of emissions) of a prototype house built according to the system SOLITERM +, composed by metallic profiles and ultralight polystyrene plates and concrete. In addition to this innovative construction system, solar power is also used as an energy source.

Regarding the thermal behavior, thermal loads are determined and the parameters of thermal comfort estimated using the dynamic simulation program Trnsys. The HVAC systems adopted in the study are also simulated considering different operating strategies in order to identify the periods in which the conditions for optimal comfort cannot be satisfied, to obtain an energy consumption estimation and to find solutions that lead to a more rational energy usage. With regard to the environmental component evaluation, a study on air quality and an analysis of the prototype house's life cycle are made.

The analysis allows detection of the prototype house system's weaknesses and strengths and identification of some improvement measures to maximize the increase in energy efficiency and reduce emissions of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere, reducing their environmental impact.

Keywords: eco-house, energy efficiency, heat transfer, comfort parameters, indoor air quality, energy modeling, ecological footprint.

Índice

| | |
|---|------------|
| AGRADECIMENTOS | II |
| RESUMO | III |
| ABSTRACT | IV |
| 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS | 1 |
| 2. ENQUADRAMENTO GERAL | 2 |
| 3. CARACTERIZAÇÃO DO CONCELHO DE MOURA | 9 |
| 3.1. O Concelho de Moura | 9 |
| 3.2. Clima | 10 |
| Temperatura | 10 |
| Precipitação | 14 |
| Humidade Relativa | 15 |
| Insolação | 17 |
| Radiação | 17 |
| 4. APRESENTAÇÃO DO PROJETO | 19 |
| 4.1. Caracterização do sistema construtivo Soliterm+ | 19 |
| Materiais Utilizados | 19 |
| Técnicas construtivas | 21 |
| Verificação das características de segurança, habitabilidade e durabilidade | 24 |
| 4.2. Casa protótipo | 26 |
| 5. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO | 31 |
| 5.1.1. Trocas de calor nos edifícios | 31 |
| 5.1.2. Isolamento Térmico | 33 |
| 5.1.3. Pontes térmicas | 36 |
| 5.1.4. Inércia térmica | 37 |
| 5.2. Conforto Térmico | 38 |

| | |
|---|------------|
| 5.3. Ventilação | 50 |
| 5.4. Metodologia | 56 |
| 5.5. Apresentação/ Discussão de Resultados | 68 |
| 6. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL | 90 |
| 6.1. Desempenho Ambiental de um Edifício | 90 |
| 6.1.1. Análise do Ciclo de Vida..... | 90 |
| 6.2. Metodologia | 99 |
| 6.3. Apresentação e discussão de Resultados | 103 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 110 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 113 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.1 - Consumo de energia (per capita) | 2 |
| Tabela 3.1 – Temperatura do ar (média diária em °C)..... | 11 |
| Tabela 3.2 – Temperatura do ar (média das máximas °C) | 11 |
| Tabela 3.3 – Temperatura do ar (média das mínimas °C) | 12 |
| Tabela 3.4 – Temperatura do ar (máxima absoluta em °C) | 12 |
| Tabela 3.5 – Temperatura do ar (número médio de dias com temperatura máxima >25°C) | 13 |
| Tabela 3.6 – Temperatura do ar (mínima absoluta em °C)..... | 13 |
| Tabela 3.7 – Temperatura do ar (número médio de dias com temperatura mínima <0°C) | 14 |
| Tabela 3.8 – Precipitação (valores médios da quantidade de precipitação - mm)..... | 15 |
| Tabela 3.9 – Humidade do ar (valores médios da humidade relativa às 9 UTC)..... | 16 |
| Tabela 3.10 – Insolação (em horas) | 17 |
| Tabela 3.11 – Radiação global em Évora (Kcal/cm ²)..... | 18 |
| Tabela 4.1 – Características dos principais componentes do sistema construtivo Soliterm+ | 28 |
| Tabela 5.1 – Resistência térmica do vestuário | 43 |
| Tabela 5.2 – Valores de metabolismo para várias atividades..... | 45 |
| Tabela 5.3 - Fontes e características físico-químicas dos poluentes englobados no índice de qualidade do ar | 48 |
| Tabela 5.4 – Recomendações ASHRAE | 50 |
| Tabela 5.5 – Resumo de prescrições de ventilação para edifícios habitacionais | 53 |
| Tabela 5.6 – Características dos principais componentes do sistema construtivo Soliterm+ | 59 |
| Tabela 5.7 – Características dos vidros da casa protótipo | 60 |
| Tabela 5.8 – Taxa metabólica – adulto 1 (exemplo) | 61 |
| Tabela 5.9 – Equipamentos elétricos..... | 61 |
| Tabela 5.10 – Iluminação..... | 62 |
| Tabela 5.11 – Características do HRV utilizado no sistema Soliterm+ | 65 |
| Tabela 6.1 – Materiais de construção mais relevantes utilizados no protótipo (Sistema Soliterm+) | 103 |
| Tabela 6.2 – Energia utilizada no local para a construção do edifício | 104 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 6.3 – Equipamentos elétricos..... | 106 |
| Tabela 6.4 – Iluminação..... | 106 |
| Tabela 6.5 – Águas Quentes Sanitárias | 107 |
| Tabela 6.6 – Energia utilizada no local para a demolição do edifício | 108 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Consumo de energia primária em Portugal | 4 |
| Figura 2.2 - Esquema representativo das componentes de um edifício sustentável | 7 |
| Figura 3.1: Enquadramento Regional de Moura | 9 |
| Figura 3.2: Altimetria do concelho de Moura | 10 |
| Figura 3.3: Humidade Relativa do ar – valores médios anuais em %..... | 16 |
| Figura 3.4: Radiação no concelho de Moura | 18 |
| Figura 4.1 - Solução com XPS..... | 20 |
| Figura 4.2 - Solução com aglomerado de cortiça | 20 |
| Figura 4.3 - Construção Soliterm + | 26 |
| Figura 4.4: Planta da casa protótipo com as três zonas | 27 |
| Figura 4.5 – Corte transversal de uma parede exterior e cobertura (sistema Soliterm+)...28 | |
| Figura 4.6 – Corte transversal de um vidro da casa protótipo | 30 |
| Figura 5.1 – Balanço energético no edifício..... | 32 |
| Figura 5.2 – Fluxo de calor ao longo de um elemento de construção | 37 |
| Figura 5.3 – Área corporal em função da altura e do peso | 44 |
| Figura 5.4 – Zonas de conforto para o verão e inverno. | 47 |
| Figura 5.5 – Relação PMV vs. PPD..... | 50 |
| Figura 5.6 – Esquema do sistema de ventilação do protótipo | 63 |
| Figura 5.7 – Esquema do sistema de ventilação do protótipo | 63 |
| Figura 5.8 – HRV | 64 |
| Figura 5.9 – Modelo de HRV (LZ-H05GBA2 (Modo eco V), adequado para a casa protótipo..... | 64 |
| Figura 5.10 – Esquema do recuperador de calor conforme a sua integração no modelo..66 | |
| Figura 5.11 – Modelo do sistema Soliterm+ em ambiente <i>Trnsys</i> | 68 |
| Figura 5.12 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de janeiro..... | 71 |
| Figura 5.13 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de fevereiro..... | 72 |
| Figura 5.14 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de março..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.15 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de abril..... | 74 |
| Figura 5.16 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de maio..... | 75 |
| Figura 5.17 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de junho..... | 76 |
| Figura 5.18 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de julho..... | 77 |
| Figura 5.19 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de agosto..... | 78 |
| Figura 5.20 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de setembro..... | 79 |
| Figura 5.21 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de outubro..... | 80 |
| Figura 5.22 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de novembro..... | 81 |
| Figura 5.23 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de dezembro..... | 82 |
| Figura 5.24 – Valores das temperaturas horárias em cada uma das divisões da casa protótipo (sala, cozinha e instalação sanitária) e da ativação do “bypass” ao recuperador de calor, durante um período do mês de agosto | 84 |
| Figura 5.25 – Valores das temperaturas horárias em cada uma das divisões da casa protótipo (sala, cozinha e instalação sanitária) e da ativação do “bypass” ao recuperador de calor, durante um período do mês de agosto com sistema de ventilação ($Q=100\text{m}^3/\text{h}$) | 86 |
| Figura 5.26 – Valores das temperaturas horárias em cada uma das divisões da casa protótipo (sala, cozinha e instalação sanitária) e da ativação do “bypass” ao recuperador de calor, durante um período do mês de agosto com sistema de ventilação ($Q=250\text{m}^3/\text{h}$) | 87 |
| Figura 5.27 – Valores das temperaturas horárias na sala, durante um período do mês de agosto com três caudais de ventilação ($Q=0\text{m}^3/\text{h}$; $Q=100\text{m}^3/\text{h}$; $Q=250\text{m}^3/\text{h}$) | 88 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.28 – Valores das temperaturas horárias na cozinha, durante um período do mês de agosto com três caudais de ventilação ($Q=0\text{m}^3/\text{h}$; $Q=100\text{m}^3/\text{h}$; $Q=250\text{m}^3/\text{h}$) | 88 |
| Figura 5.29 – Valores das temperaturas horárias na instalação sanitária, durante um período do mês de agosto com três caudais de ventilação ($Q=0\text{m}^3/\text{h}$; $Q=100\text{m}^3/\text{h}$; $Q=250\text{m}^3/\text{h}$)..... | 89 |
| Figura 6.1 - Ciclo de vida das construções | 91 |
| Figura 6.2 – Impactes ambientais no ciclo de atividades da construção | 92 |
| Figura 6.3 – Limites do sistema para a análise do ciclo de vida energético de um edifício | 100 |

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O crescimento económico tem vindo a provocar um aumento generalizado do grau de exigência relativamente ao conforto no interior dos edifícios, ao qual tem vindo a ser dada, de uma forma geral, a resposta menos racional, isto é, a instalação sistemática de equipamentos mecânicos de climatização, desprezando as boas condições climáticas que o nosso país dispõe para a utilização das tecnologias "solares passivas" (Oliveira, 2007).

No âmbito do presente estudo serão exploradas as potencialidades do sistema construtivo Soliterm+, que se encontra neste momento a ser testado e que pode vir a ser utilizado em larga escala. Tal só poderá vir a acontecer se a análise da casa protótipo, relativamente à sua qualidade térmica, à qualidade do ar interior e ao impacte ambiental, for francamente positiva. Todas estas variáveis associadas a um preço de mercado mais competitivo serão, certamente, razões para se poder afirmar que se poderá estar a assistir ao início de uma mudança generalizada ao nível de materiais e de técnicas construtivas utilizadas nas habitações.

Pretende-se avaliar o desempenho energético e o impacte ambiental do edifício protótipo, de modo a ter edifícios com elevada eficiência energética e, conseqüentemente com um reduzido impacte ambiental. Desta forma, procura-se uma elevada qualidade térmica e um reduzido consumo de energia necessário para o funcionamento dos sistemas energéticos associados (sistemas de aquecimento e de arrefecimento, sistema de produção de água quente sanitária, sistema de iluminação, sistemas de ventilação, etc.), tendo como pontos principais a garantia das condições de conforto dos ocupantes e a qualidade do ar interior.

Os principais objetivos desta tese são os seguintes:

- Avaliar o comportamento térmico da casa protótipo construída de acordo com o sistema SOLITERM+ e o desempenho de alguns dos sistemas associados (sistemas de ventilação e climatização);
- Avaliar a análise do ciclo de vida da casa protótipo.

2. ENQUADRAMENTO GERAL

Atualmente, a satisfação das necessidades energéticas do mundo assenta sobretudo na utilização dos combustíveis fósseis. O problema apresenta-se de difícil solução porque as necessidades energéticas têm vindo a aumentar, ao passo que as reservas se esgotam a um ritmo acelerado.

Aos Estados Unidos da América (EUA), que consomem, por ano, um quarto de toda a energia produzida no mundo, e ao Canadá, que detém o consumo *per capita* mais elevado, juntam-se agora as potências económicas emergentes, como a China, o Brasil e a Índia, cujo consumo de energia está a aumentar (ver tabela 2.1).

Por outro lado, a instabilidade dos preços do gás e do petróleo levou alguns países a apostarem novamente no carvão, que é o combustível fóssil mais poluente.

Tabela 2.1 - Consumo de energia (per capita)

| Países | Consumo de energia (tep per capita) | |
|-----------------|--|------------|
| | 1990 | 2004 |
| Canadá | 8,9 | 9,6 |
| EUA | 7,7 | 7,8 |
| França | 3,8 | 4,3 |
| Alemanha | 4,4 | 4,0 |
| Espanha | 2,3 | 3,4 |
| Portugal | 1,6 | 2,3 |
| China | 0,6 | 1,1 |
| Brasil | 0,8 | 1,0 |
| Índia | 0,2 | 0,3 |
| Bangladesh | 0,1 | 0,1 |

FONTE: EDP - Energias de Portugal, S.A., 2006

O Protocolo de Quioto veio impor um teto nas emissões de dióxido de carbono para a atmosfera e de outros gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa (GEE) que também contribuem para o aquecimento global. Cada estado signatário do Protocolo obrigou-se a tomar as medidas necessárias para limitar a produção de GEE no seu território. Para isso, impõe-se a criação de mecanismos de atuação e a definição de políticas de curto e médio prazo que reduzam as emissões daqueles gases em 20% até 2020.

Portugal produz apenas 15% da energia que consome, tornando-o num dos países mais dependentes da utilização de combustíveis fósseis importados (ver fig. 2.1). O consumo de energia nos serviços e na habitação representa 22% do consumo global, um valor que tem aumentado 4% ao ano (EDP - Energias de Portugal, S.A., 2006).

Esta dependência energética externa tem consequências diretas na economia, uma vez que o custo dos combustíveis fósseis importados encarece a produção de bens e serviços em território nacional.

Adicionalmente, a utilização pouco eficiente da energia traduz-se em ameaças preocupantes para o país, seja do ponto de vista económico, social ou ambiental. Tal situação deve ser invertida através do aumento da eficiência no consumo de energia e no aproveitamento do potencial de energias renováveis, que em Portugal é assinalável, com destaque para a energia solar, eólica, hídrica e da biomassa.

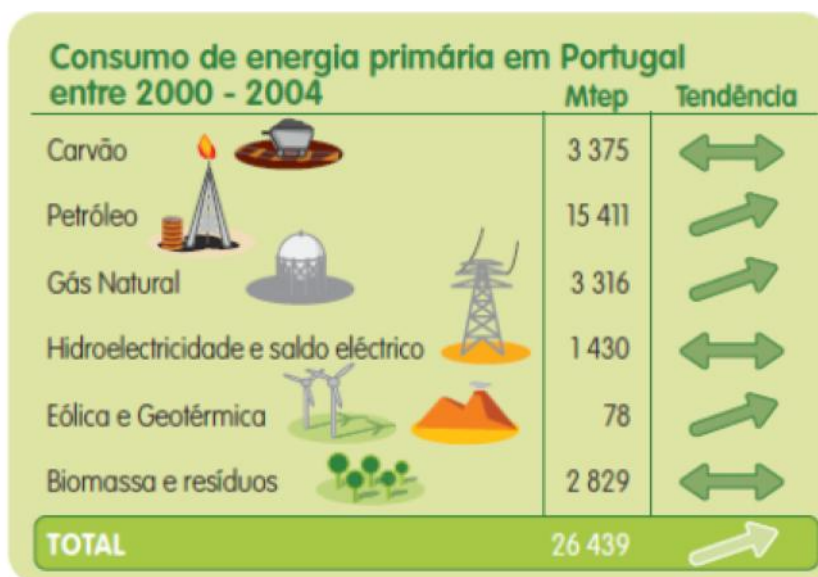


Figura 2.1: Consumo de energia primária em Portugal (FONTE: EDP, 2006)

O enquadramento da política ambiental para satisfazer o compromisso nacional e fazer face aos desafios que surgem neste domínio encontra-se explicitado na Resolução de Conselho de Ministros nº 59/2001, de 30 de maio, que aprovou a estratégia para as Alterações Climáticas, e na Lei 93/2001, de 20 de agosto, que criou instrumentos para prevenir as alterações climáticas e os seus efeitos, tendo sido definido o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

O dióxido de carbono, o mais representativo de entre os gases que contribuem para o aquecimento global, resulta essencialmente da queima de combustíveis fósseis, para a produção de calor e de eletricidade ou fonte motriz nos transportes, bem como da utilização de biomassa.

Cerca de 2/3 do total das emissões de GEE em Portugal são provenientes da utilização da energia. Dado que esta é repartida pelos vários setores de atividade, nomeadamente a indústria, os edifícios (residenciais e de serviços) e os transportes, torna-se necessário estabelecer medidas de atuação, de âmbito sectorial, que conduzam ao estabelecimento de "quotas" de emissões por setor, de forma a que seja possível gerir a respetiva contribuição para o objetivo global.

Sendo os edifícios, tanto os residenciais como os de serviços, responsáveis por mais de 20% do consumo de energia final em Portugal é urgente promover ações que aumentem a sua eficiência energética e independência de combustíveis fósseis para que este valor se possa reduzir significativamente (DGE, 2002).

De acordo com dados do início da década de 2000, existem em Portugal mais de 3,3 milhões de edifícios, que representavam cerca de 22% do consumo em energia final (residencial com 13% e os serviços com 9%).

No setor residencial doméstico, o aumento do conforto e da taxa de posse de equipamentos consumidores de energia, situou o crescimento médio anual dos consumos energéticos em edifícios de habitação em 3,7% (dados do início da década 2000). Os 13% em energia final deste setor, representam no entanto 27% dos consumos de eletricidade em Portugal, evidenciando a importância desta fonte de energia no setor doméstico.

A análise global da distribuição dos consumos energéticos do setor doméstico em termos de energia final revela, ainda, o seguinte:

- 50% são consumos na confeção de alimentos e na produção de água quente sanitária (AQS);
- 25% em iluminação e eletrodomésticos;
- 25% em aquecimento e arrefecimento.

Estes números evidenciam o peso significativo dos consumos no aquecimento das AQS, assim como os consumos com base em energia elétrica, traduzindo a necessidade de atuar nestas duas vertentes com medidas de utilização racional de energia. O vetor da climatização representa apenas 25%, mas com uma taxa de crescimento elevada, devido a uma maior exigência no conforto térmico. Na última década o setor dos edifícios de serviços foi um dos que mais cresceu em consumos energéticos. Existe uma grande heterogeneidade no setor dos serviços, que vai desde a pequena loja até um grande hotel

ou uma grande superfície e dentro da mesma categoria, existem unidades eficientes e outras grandes consumidoras de energia.

Tendo em conta esta diferenciação, é necessário separar o setor em tipos de edifícios, dos quais os mais significativos (em termos de consumos específicos), são os restaurantes, hotéis, hipermercados, supermercados, piscinas, hospitais e escritórios (Portal das Energias Renováveis, 2005-2007).

Tal como foi referido anteriormente, os edifícios constituem o local onde as pessoas permanecem cerca de 80% do seu tempo, pelo que uma inadequada gestão energética implica gastos acrescidos de energia em climatização. É de fácil compreensão que se adotem medidas construtivas para os edifícios que permitam minimizar esses gastos, inclusivamente o recurso a formas de energia renováveis.

É fundamental projetar edifícios com elevada eficiência energética, ou seja, construir edifícios perfeitamente adaptados ao clima local, à adoção de sistemas associados eficientes, à utilização de energias renováveis e respeitando a qualidade do ambiente interior para os seus habitantes. Desta forma, seguindo uma política energética sustentável, em que a eficiência energética e as energias renováveis são os seus dois pilares, pode afirmar-se que se está no rumo da sustentabilidade energética.

Os edifícios sustentáveis são aqueles que proporcionam um ambiente saudável a todos os seus ocupantes, tendo em vista a satisfação das suas necessidades, consumindo, para isso, a menor quantidade possível de energia. Esta sustentabilidade deve ser conseguida ao nível ecológico, económico, social e cultural. A sustentabilidade ecológica visa principalmente a preservação dos recursos energéticos e materiais e a proteção dos ecossistemas, dos problemas atuais e futuros. A sustentabilidade económica pode ser obtida através de uma exploração dos recursos adequada e consciente e de uma diminuição do custo global, através da minimização do custo da energia, do custo de operação e manutenção e do custo de uma eventual recuperação dos edifícios.

Por último, a sustentabilidade social e cultural pretende proteger os seres humanos, otimizar o conforto e a saúde dos ocupantes e construtores do edifício, desencorajar a exclusão social e preservar os valores sociais e económicos (Matos, 2009).

Tendo em vista estes níveis de sustentabilidade e o ambiente urbano no qual estão inseridos os edifícios, a construção sustentável assenta em três grandes pilares: a eficiência energética, relacionada com a redução do consumo de energia, o conforto térmico dos ocupantes de um edifício e a qualidade do ar interior, como é mostrado na figura 2.2.

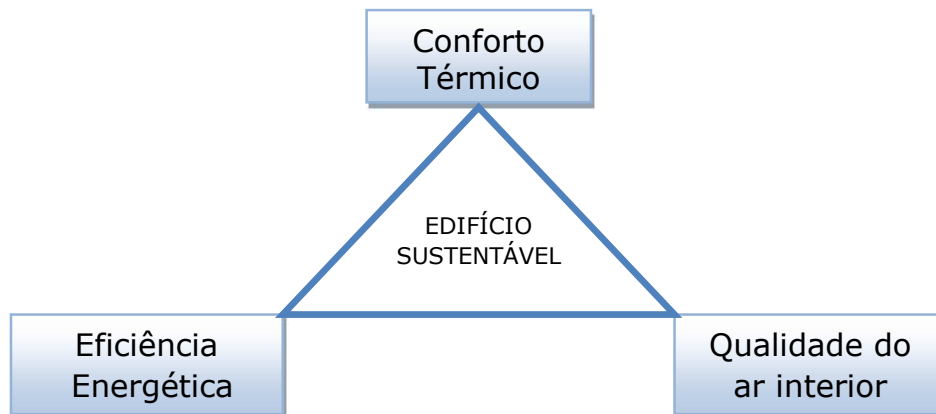


Figura 2.2 - Esquema representativo das componentes de um edifício sustentável

A eficiência energética desempenha um papel fundamental nas políticas energéticas europeias, nomeadamente na melhoria da segurança no abastecimento da energia, no reforço da competitividade das empresas europeias e na satisfação dos compromissos de Quioto para a redução dos gases com efeito de estufa. Na Europa o setor da construção é responsável por mais de 40% do consumo de energia final, onde cerca de um terço desta procura pode ser atribuída aos edifícios não residenciais, tais como escritórios, fábricas, escolas, hospitais ou hotéis. Ao mesmo tempo, podem representar um dos maiores potenciais de poupança energética, que pode ser explorada através da melhoria dos sistemas de climatização dos edifícios, da procura de sistemas de iluminação e equipamentos mais eficientes, da aplicação de energias renováveis, e da otimização do invólucro do edifício. (EC, 2003 *in* Matos, 2009)

Na última década têm sido desenvolvidos sistemas de avaliação de ciclo de vida dos edifícios, de forma a avaliar do ponto de vista ecológico o seu desempenho. Neste tipo de análise, considera-se todo o ciclo de vida dos materiais que constituem o edifício, desde o processamento ao desmantelamento. Também é avaliada a *performance* ambiental dos vários sistemas existentes nos edifícios, considerando o tipo de combustível que utilizam.

Normalmente os cálculos são efetuados a partir da contabilização de emissões com impacto no ambiente, sendo a unidade mais utilizada o Kg de CO₂-equivalente. A grande vantagem deste tipo de análise é a de integrar os aspetos ecológicos logo na fase conceptual do projeto.

É neste contexto estratégico que surge a presente tese “Avaliação do desempenho energético e ambiental de uma casa ecológica em Moura - Portugal” que consiste em avaliar o comportamento térmico e o ciclo de vida de uma casa protótipo com aspetos inovadores para edificação.

Um projeto que seja energeticamente eficiente mas que tenha um custo ambiental elevado durante o seu ciclo de vida não é viável. Como tal, no presente trabalho consideram-se as duas análises absolutamente indissociáveis e fundamentais para uma conclusão acerca do desempenho global do protótipo em estudo.

3. CARACTERIZAÇÃO DO CONCELHO DE MOURA

3.1. O Concelho de Moura

O concelho de Moura situa-se a 60 km de Beja (capital do Baixo Alentejo), tem uma área de 958 Km², conta com uma população de cerca de 15186 habitantes (censos 2011) repartidos pelas freguesias de Amareleja, Póvoa de São Miguel, Safara, Moura (Santo Agostinho), Santo Aleixo da Restauração, Santo Amador, Moura (São João Batista) e Sobral da Adiça. O município é limitado a nordeste por Mourão, a leste por Barrancos, a leste e sul por Espanha, a sudoeste por Serpa, a oeste pela Vidigueira e a noroeste por Portel e por Reguengos de Monsaraz.



Figura 3.1: Enquadramento Regional de Moura (FONTE: Atlas do Ambiente digital, 2006)

Da sua morfologia destaca-se como a área de maior altitude a da Serra da Adiça (522 m). Situa-se na transição entre o concelho de Moura e o concelho de Serpa. De uma forma geral os seus limites encerram altitudes compreendidas entre os 100 m e os 400m. A zona a Norte possui cotas até aos 200 m e a zona a sudeste entre os 300 e 500m.

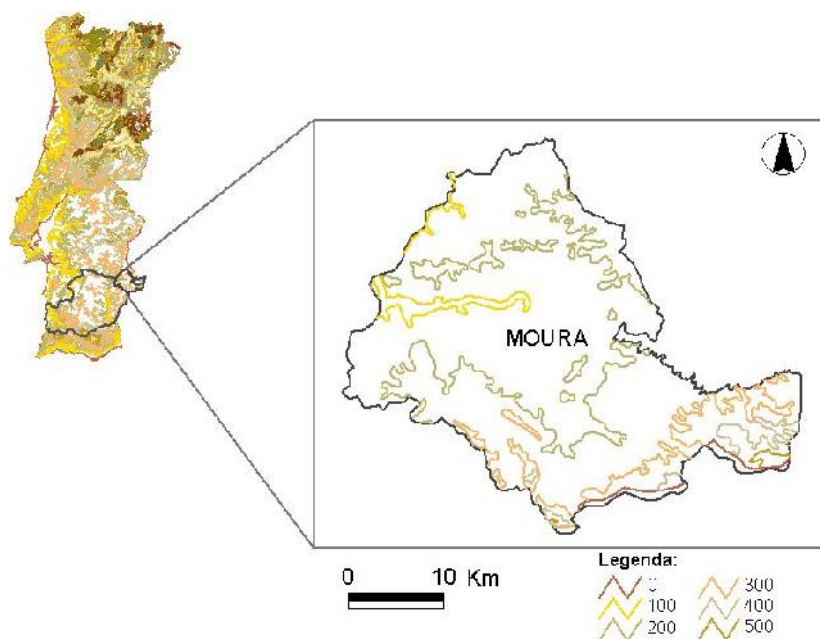


Figura 3.2: Altimetria do concelho de Moura (FONTE: Atlas do Ambiente digital, 2006)

3.2. Clima

A localização do Concelho de Moura na região alentejana e a fraca influência atlântica acentua uma situação contrastante típica da região Alentejo com baixa pluviosidade, elevadas amplitudes térmicas, Invernos frescos e Verões quentes. Da diferenciação entre a estação seca e estação húmida ressalta o domínio do Clima Mediterrâneo.

Temperatura

A distribuição espacial da temperatura do ar numa região limitada é principalmente condicionada pelos fatores fisiográficos nomeadamente o relevo (altitude e exposição), pela natureza do solo e do seu revestimento, pela proximidade de grandes superfícies de água e pelo regime dos ventos.

Na tabela 3.1 apresentam-se os valores médios diários no mês e no ano da temperatura do ar para três locais próximos do local de estudo para o período 1963/1970 (Amareleja), 1961/1970 (Contenda) e 1956/1970 (Beja).

Tabela 3.1 – Temperatura do ar (média diária em °C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Amareleja | 9,2 | 9,9 | 11,6 | 13,9 | 18,3 | 21,5 | 24,7 | 24,2 | 21,9 | 18,1 | 12,4 | 8,0 | 16,1 |
| Contenda | 9,7 | 10,1 | 11,6 | 13,6 | 17,8 | 20,5 | 24,2 | 24,4 | 21,8 | 17,8 | 12,1 | 9,0 | 16,0 |
| Beja | 9,6 | 10,0 | 12,0 | 13,8 | 17,6 | 20,9 | 23,7 | 23,8 | 21,7 | 17,6 | 12,4 | 9,2 | 16,0 |

FONTE: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Pode verificar-se que os valores médios da temperatura do ar no mês variam regularmente ao longo do ano, com o máximo em julho/agosto e o mínimo em dezembro/janeiro. A temperatura média do ar nos meses mais quentes tem valores desde 23,8°C até 24,7°C na Amareleja. Segundo a mesma fonte, a temperatura média do ar no mês mais frio tem valores de 8°C.

As tabelas 3.2 e 3.3 contêm respetivamente os valores médios no mês e no ano das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas diárias do ar para os locais referidos. Os períodos considerados foram de 1963 a 1970 na Amareleja, 1961 a 1970 na Contenda e de 1956 a 1970 em Beja.

Tabela 3.2 – Temperatura do ar (média das máximas °C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Amareleja | 14,0 | 14,3 | 16,8 | 20,1 | 25,6 | 28,7 | 33,3 | 32,9 | 28,9 | 23,9 | 17,0 | 12,6 | 22,3 |
| Contenda | 9,7 | 10,1 | 11,6 | 13,6 | 17,8 | 20,5 | 24,2 | 24,4 | 21,8 | 17,8 | 12,1 | 9,0 | 16,0 |
| Beja | 13,6 | 14,4 | 17,0 | 19,8 | 24,7 | 28,6 | 32,6 | 32,4 | 28,8 | 23,1 | 16,8 | 13,3 | 22,1 |

FONTE: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Tabela 3.3 – Temperatura do ar (média das mínimas °C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| Amareleja | 4,4 | 5,4 | 6,4 | 7,7 | 11,0 | 14,2 | 16,1 | 15,5 | 14,8 | 12,3 | 7,9 | 3,3 | 9,9 |
| Contenda | 6,7 | 6,7 | 7,8 | 9,0 | 12,1 | 14,8 | 16,4 | 16,8 | 15,9 | 13,5 | 8,9 | 5,8 | 11,2 |
| Beja | 5,6 | 5,6 | 6,9 | 7,8 | 20,6 | 13,2 | 14,8 | 15,1 | 14,6 | 12,1 | 7,9 | 5,0 | 9,4 |

Fonte: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Os valores médios das temperatura máximas observados vão desde 24,4°C na Contenda até 33,3°C na Amareleja. Os valores médios das temperaturas mínimas observados no ano vão desde 3,3°C na Amareleja até 5°C em Beja.

A tabela 3.4 contém os valores da temperatura máxima absoluta do ar, no mês e no ano, observados naqueles três locais durante o período correspondente a cada um deles, já anteriormente referidos, e a tabela 3.5 os valores médios do número de dias no mês e no ano em que a temperatura máxima do ar é superior a 25,0°C, também nos mesmos períodos.

Tabela 3.4 – Temperatura do ar (máxima absoluta em °C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Amareleja | 19,7 | 22,4 | 26,5 | 30,2 | 36,5 | 41,7 | 43,2 | 41,0 | 41,3 | 34,2 | 28,7 | 18,0 | 43,2 |
| Contenda | 20,3 | 21,8 | 24,2 | 30,2 | 34,4 | 39,7 | 40,7 | 39,6 | 38,7 | 32,4 | 26,5 | 20,5 | 40,7 |
| Beja | 20,0 | 23,4 | 26,0 | 30,5 | 36,7 | 40,7 | 42,7 | 40,7 | 40,3 | 34,3 | 27,9 | 19,5 | 42,7 |

Fonte: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Pode observar-se que em todos os locais se registaram temperaturas máximas superiores a 40°C.

Tabela 3.5 – Temperatura do ar (número médio de dias com temperatura máxima >25°C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Amareleja | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 3,9 | 15,3 | 21,9 | 31,0 | 30,4 | 23,4 | 10,0 | 1,0 | 0,0 | 137,2 |
| Contenda | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,5 | 12,1 | 20,2 | 30,5 | 30,3 | 21,0 | 7,6 | 0,6 | 0,0 | 123,8 |
| Beja | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,5 | 12,1 | 20,2 | 30,5 | 30,3 | 21,0 | 7,6 | 0,6 | 0,0 | 123,8 |

Fonte: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

É possível verificar que o número médio de dias com temperatura máxima do ar superior a 25 °C é nulo de dezembro a fevereiro/março e atinge os valores mais elevados de junho a setembro, salientando-se os valores de julho e agosto que perfazem a quase totalidade dos meses.

A tabela 3.6 contém os valores da temperatura mínima absoluta do ar, no mês e no ano, observados naqueles três locais durante o período correspondente a cada um deles, já anteriormente referidos, e a tabela 3.7 os valores médios do número de dias no mês e no ano em que a temperatura mínima do ar é inferior a 0,0°C.

Tabela 3.6 – Temperatura do ar (mínima absoluta em °C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|
| Amareleja | -4,4 | -2,8 | 0,0 | 0,2 | 3,3 | 7,2 | 10,5 | 10,0 | 7,8 | 3,3 | -0,6 | -3,5 | -4,4 |
| Contenda | -1,6 | -3,3 | 0,7 | 2,3 | 4,0 | 7,6 | 8,5 | 3,6 | 7,6 | 5,3 | 0,5 | -3,0 | -3,3 |
| Beja | -3,6 | -4,0 | 0,1 | 0,5 | 2,3 | 6,2 | 8,8 | 9,8 | 7,4 | 4,2 | -0,1 | -4,9 | -4,9 |

Fonte: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Pode observar-se que todos os locais registam uma temperatura mínima absoluta inferior a 0°C registada durante o ano.

Tabela 3.7 – Temperatura do ar (número médio de dias com temperatura mínima <0°C)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Amareleja | 3,7 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 4,5 | 9,8 |
| Contenda | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| Beja | 1,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 1,1 | 3,3 |

Fonte: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

É possível verificar que o número médio de dias com temperatura mínima do ar inferior a 0 °C é nulo para todos os locais de março a outubro/ novembro e atinge os valores mais elevados para dezembro e janeiro. No entanto, o número de dias que apresenta temperaturas inferiores a 0°C é muito reduzido para os três locais aproximando-se de zero na Contenda.

Precipitação

Define-se precipitação como a quantidade de água transferida da atmosfera para o globo no estado líquido ou sólido sob a forma de chuva, chuveiro, neve, granizo ou saraiva, por unidade de área de uma superfície horizontal, durante um determinado intervalo de tempo. Expressa-se em mm.

Na tabela 3.8 apresentam-se os valores médios mensais e anuais da quantidade de precipitação observada nos 3 locais (Beja, Contenda e Évora). A estação meteorológica da Amareleja foi substituída pela de Évora devido à ausência de dados referentes à precipitação. O período de recolha dos dados foi de 1956 a 1970 para Beja, 1961 a 1970 na Contenda e 1950 a 1970 em Évora.

Tabela 3.8 – Precipitação (valores médios da quantidade de precipitação - mm)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-------|------|-------|
| Beja | 88,9 | 83,4 | 89,8 | 47,7 | 35,7 | 24,6 | 0,9 | 2,2 | 23,3 | 72,2 | 82,8 | 84,4 | 635,9 |
| Contenda | 132,8 | 117,7 | 92,6 | 55,2 | 35,7 | 38,1 | 3,7 | 0,9 | 28,4 | 87,7 | 121,3 | 78,4 | 792,5 |
| Évora | 98,3 | 87,4 | 99,5 | 50,6 | 44,8 | 28,4 | 2,2 | 2,3 | 22,4 | 63,9 | 100,6 | 85,4 | 685,8 |

FONTE: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Os valores da quantidade anual da precipitação variam nesta região entre 635,9 e 792,5 mm. A estação da Contenda é a que apresenta o maior valor de precipitação das três em análise. Os meses mais chuvosos são os de novembro, dezembro e janeiro, enquanto que os menos chuvosos são os de julho e agosto.

O clima apresenta-se moderadamente chuvoso. A estação húmida concentra-se nos meses de outubro a março, enquanto que a estação seca decorre desde abril até setembro.

Humidade Relativa

A humidade relativa do ar é um dos elementos climáticos que definem o estado higrométrico do ar e mede a quantidade de vapor de água que existe no ar em relação ao máximo que o ar poderia conter à mesma temperatura. Depende não só da quantidade de vapor de água contida no ar, mas também da temperatura deste.

Os valores da humidade relativa do ar às 9 UTC (*Universal Time Coordinated*) são considerados como sendo uma boa aproximação da média dos valores das 24 horas diárias.

A humidade relativa do ar varia ao longo do dia na razão inversa da evolução das temperaturas. Assim, os meses de julho e agosto, são aqueles em que se registam os valores mais baixos, enquanto que nos meses em que ocorre a formação de orvalho

registra-se o valor mais elevado (100%). Anualmente o valor médio da humidade do ar na maior parte do território situa-se entre os 80% e os 85% e na restante situa-se entre 75% e 80%, conforme se pode verificar a partir da análise da Figura 3.3.

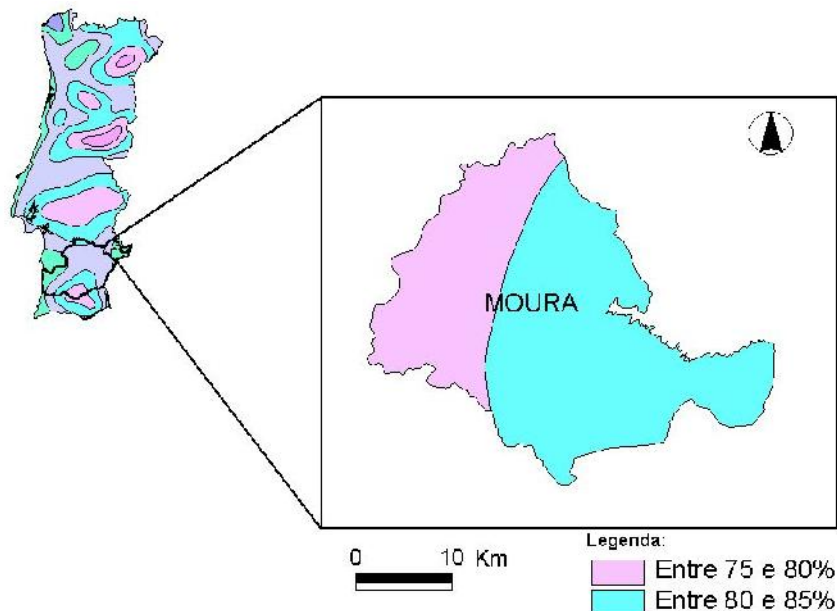


Figura 3.3: Humidade Relativa do ar – valores médios anuais em % (FONTE: Atlas do Ambiente digital, 2006)

Os valores da humidade relativa do ar às 9 UTC são considerados como sendo uma boa aproximação da média dos valores das 24 horas diárias. Em Beja, os valores da humidade relativa do ar são às 6 UTC.

Tabela 3.9 – Humidade do ar (valores médios da humidade relativa às 9 UTC)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Amareleja | 92 | 90 | 80 | 76 | 71 | 66 | 56 | 58 | 63 | 72 | 87 | 91 | 75 |
| Contenda | 84 | 79 | 79 | 74 | 66 | 58 | 50 | 53 | 65 | 74 | 81 | 82 | 70 |
| Beja | 94 | 92 | 92 | 93 | 90 | 90 | 88 | 85 | 87 | 89 | 92 | 93 | 90 |

Fonte: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Os meses em que se verificam os valores mais baixos deste elemento climatológico são julho e agosto e os meses em que os valores se verificaram mais elevados foram dezembro e janeiro.

Insolação

Denomina-se insolação ao tempo de sol descoberto num determinado local e durante o intervalo de tempo considerado. O seu valor expressa-se em horas. Na tabela 3.10 apresentam-se os valores médios mensais e anuais da insolação observados em duas das estações meteorológicas mais próximas do local em estudo com registos.

Tabela 3.10 – Insolação (em horas)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Beja | 146,3 | 155,9 | 178,4 | 245,3 | 306,9 | 325,8 | 383,0 | 348,5 | 247,6 | 211,2 | 159,9 | 150,8 | 2859,6 |
| Évora | 154,0 | 168,1 | 195,0 | 248,5 | 298,5 | 334,4 | 390,9 | 362,8 | 270,4 | 222,8 | 162,9 | 159,2 | 2967,5 |

FONTE: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Em Beja o período considerado foi de 1956 a 1970 e em Évora foi de 1941 e 1970.

Conclui-se que, em qualquer dos locais, os meses que apresentam valores com maior insolação são julho e agosto, enquanto que o mês que apresenta o valor mais reduzido de insolação é janeiro. O valor de insolação é próximo das 3000 horas/ano para as duas estações, apresentando um valor mais elevado para Évora.

Radiação

A quantidade de energia radiante recebida por unidade de área numa superfície horizontal durante o intervalo de tempo considerado, denomina-se radiação global (RG). Nesta designação incluem-se a radiação solar direta e a radiação emitida, refletida e difundida pela atmosfera e pelos corpos nela existentes, incluindo as nuvens, sendo o seu valor expresso em cal/cm². Na tabela 3.11 apresentam-se os valores médios mensais e anual

da radiação global observada em Évora, uma vez que só aqui é possível ter registos relativos à radiação para o período considerado que foi de 1955 a 1970.

Tabela 3.11 – Radiação global em Évora (Kcal/cm²)

| Local | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Évora | 5,16 | 7,07 | 10,44 | 14,76 | 18,06 | 19,28 | 21,69 | 18,80 | 13,26 | 9,36 | 5,73 | 4,90 | 148,5 |

FONTE: Reis, R.& Gonçalves, M., 1987

Como se verifica, os valores médios mensais variam regularmente ao longo do ano, registando-se o máximo de radiação global em julho e o mínimo em dezembro.

Relativamente a Moura, é conhecido o seu potencial no que diz respeito à radiação solar, nomeadamente na zona da Amareleja onde foi implantada a Central Solar Fotovoltaica que irá produzir cerca de 93 GWh de energia elétrica por ano, durante 25 anos. Como se pode verificar através da figura 3.4 e de acordo com o atlas do ambiente (2006), todo o concelho de Moura apresenta valores médios anuais de radiação em plano horizontal entre 160 e 165 Kcal/cm², os mais elevados registados em território nacional.

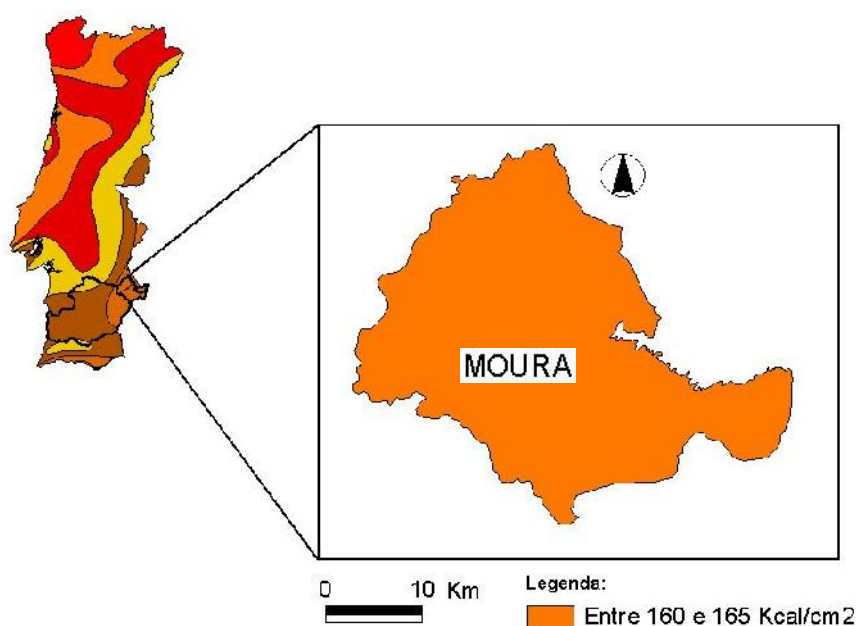


Figura 3.4: Radiação no concelho de Moura (FONTE: Atlas do Ambiente digital, 2006)

4. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

4.1. Caracterização do sistema construtivo Soliterm+

O soliterm+ é um sistema construtivo composto por perfis metálicos ultraleves e placas de poliestireno para formar painéis de cofragem na execução de uma estrutura integral de betão armado e permitir uma rapidez de execução inferior a 60% relativamente ao sistema tradicional.

O painel Soliterm+ é fabricado de forma a minimizar o tempo de obra, a otimizar a mão de obra, a racionalizar a utilização de materiais reduzindo a quantidade de energia utilizada e desperdícios resultantes da atividade de construção.

Materiais Utilizados

Painel de parede Soliterm+

O painel de parede Soliterm+ é composto por 3 grupos de elementos: i) estruturais, ii) contenção/ isolamento e revestimento e iii) fixação.

Os elementos estruturais são perfis metálicos de aço estrutural, com tratamento anticorrosivo, segundo a norma EN10326. A sua secção e espessura varia consoante as cargas que o edifício irá suportar. Os elementos verticais são um perfil em “C” com dimensão 100x50x15mm e com espessura de 1,2 mm. Para os elementos horizontais as secções são as seguintes: cantoneira de abas iguais com 50x50 mm e com espessura de 2 mm, um perfil em “C” com dimensão 150x70x15 mm e com espessura de 2 mm e finalmente o aço nervurado A400NR, com diâmetro mínimo de 10 mm.

Para contenção/ isolamento e revestimento são utilizados dois tipos de material, no painel *standard*: poliestireno extrudido de alta densidade (XPS) e nos ecopainel: aglomerado de cortiça “Falca” e manta de fibra de coco.

O XPS utilizado é fabricado por várias empresas possuindo características similares independentemente da proveniência, tendo sido estabelecido como referência um valor

mínimo de massa específica de 33 Kg/m^3 . A sua espessura deverá ter uma margem de tolerância máxima aconselhada no fabrico de 0.5 mm e as suas faces devem permitir a aderência de barramentos de revestimento. A espessura do XPS na face exterior do painel Soliterm+ é de 80 mm e de 60 mm no interior, podendo em climas mais temperados a utilização de outras espessuras.

O aglomerado de cortiça (80 Kg/m^3) e a manta de fibra de coco (espessura de 12 a 15 mm) são fabricados em Portugal. Na face exterior são aplicados 80 mm de cortiça e uma camada da manta de fibra de coco. Na face interior é aplicado somente um painel de cortiça com 80 mm de espessura.

Vista tridimensional

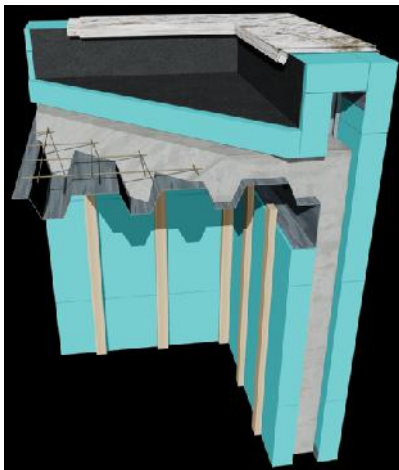


Figura 4.1 - Solução com XPS (FONTE: <http://www.somafre.pt> em 30/10/2010)



Figura 4.2 - Solução com aglomerado de cortiça (FONTE: <http://www.somafre.pt> em 30/10/2010)

Todos os componentes do sistema Soliterm+ são fixados por meio de parafusos e buchas com características próprias.

A ligação entre elementos metálicos é realizada com parafusos autoperfurantes, de cabeça sextavada.

A ligação entre elementos de contenção/revestimento e elementos metálicos é executada com parafusos autoperfurantes, sendo o comprimento em função da espessura dos diversos elementos a unir.

Na face exterior, de forma a eliminar a ponte térmica criada pelo parafuso, é utilizada uma bucha plástica (manga cónica). Por exemplo, no caso de se utilizar XPS com 80 mm de espessura, a bucha a utilizar terá no mínimo 40 mm de comprimento.

Fundações

As fundações podem assumir diversas formas, em função do tipo de terreno e do projeto.

Na sua larga maioria a solução a utilizar será uma viga de fundação, localizada diretamente na face inferior da parede Soliterm+, dimensionada de forma a suportar as cargas previstas. Esta solução só é possível devido à não existência de cargas pontuais, uma vez que a parede Soliterm+ é uma parede estrutural, recebendo e distribuindo as cargas uniformemente. Em média a carga situada na parede por metro linear por piso é de aproximadamente 1500Kg.

O ensoleiramento geral é também uma das soluções utilizadas. A espessura da laje e os seus reforços são determinados em função do projeto e condições do solo.

Técnicas construtivas

O painel Soliterm+ é construído sobre mesas de montagem que permitem executar paredes até 12,4m de comprimento e uma altura máxima de 4m.

A superfície da mesa de montagem deverá ser lisa, sem qualquer protuberância que possa impedir a colocação dos perfis ou danificar o XPS. A superfície deve ser ainda totalmente plana, sem qualquer empeno.

O revestimento interior em XPS ou aglomerado de cortiça (consoante o tipo de painel) é colocado, sendo fixado por intermédio do ripado de madeira e de parafusos auto perfurantes de cabeça de embutir (9 unidades por m²).

Estando a face interior pronta, procede-se à rotação do painel, com recurso a um pórtico com incorporação de guincho elétrico, de modo a facilitar a operação.

Ao rodar o painel, e antes de iniciar a Forra (acabamento) da face exterior, são colocados varões de aço nervurado (armadura de reforço horizontal). O seu diâmetro e espaçamento variam em função do projeto.

Colocados os reforços, coloca-se a cantoneira inferior e superior por meio de parafusos autoperfurantes de cabeça sextavada (um por perfil vertical), iniciando-se a forra da face exterior do painel de parede, o XPS ou cortiça, são fixos com parafusos autoperfurantes e bucha plástica (9 unidades por m²). A sua aplicação é realizada com uma aparafusadora especialmente concebida para estas fixações, que permite que a força de aperto e a profundidade de penetração da bucha no XPS seja constante.

Após a aplicação do XPS na totalidade da face exterior é executado o pré-acabamento, juntamente com uma malha de fibra de vidro.

Este pré acabamento visa dotar o painel de uma superfície resistente, apto a receber qualquer tipo de acabamento. Estando o barramento executado, o painel é retirado da mesa de fabrico e colocado, deitado sobre uma superfície nivelada, ou na vertical sobre o cavalete de transporte, especialmente concebido para o efeito.

Os painéis Soliterm+ são extremamente resistentes, devido à sua leveza e capacidade das superfícies (exterior e interior) para absorver impactos. No entanto, se ocorrer alguma danificação durante o transporte ou armazenamento do painel, este pode ser facilmente reparado (em estaleiro ou obra) com recurso a malha de fibra de vidro e barramento de cimento.

Os painéis Soliterm+ poderão ser transportados sobre um cavalete metálico, construído especificamente para o efeito, se as suas dimensões o justificarem.

A construção de um edifício com o sistema Soliterm+, não contempla o armazenamento dos painéis em obra, procurando minimizar o espaço ocupado, associado à construção. No entanto, caso seja necessário, os painéis podem ser armazenados em obra, sobre

cavelete apropriado ou qualquer outra superfície lisa e desimpedida. Os painéis podem ser empilhados uns em cima dos outros até um máximo de 6 painéis.

Os painéis Soliterm+ são autoportantes, não necessitando de qualquer escoramento. A sua leveza permite uma quantidade diminuta de equipamentos de elevação.

Em função da sua dimensão, os painéis são posicionados sobre a laje manualmente ou com o auxílio de uma grua de pequenas dimensões (um painel standard com 12,4x3m pesa somente 550 Kg). As paredes vão sendo posicionadas e unidas nos cantos, por intermédio de parafusos auto perfurantes e bucha plástica, sempre verificando o seu posicionamento e verticalidade.

Após o posicionamento de todos os painéis de parede dar-se-á início ao assentamento das lajes. As lajes, seja qual for a solução adotada, assentam sobre o perfil em “C”, situado na face interior no topo da parede que possui resistência estrutural suficiente, para suportar o peso das lajes, deixando de figurar como elemento estrutural após a cura do betão.

Seguindo a distribuição dos reforços parede-laje, dever-se-á colocar a malha electrosoldada, sobre a laje, utilizando apoios/espaçadores em plástico, para garantir um correto posicionamento desta. Como descrito anteriormente, proceder à amarração entre reforços e malha.

Antes de se proceder à betonagem, deverá ser realizada uma inspeção-geral, assegurando:

- Escoramento, correta colocação do escoramento temporário das lajes (caso se aplique)
- Estanquicidade, a não existência de espaçamentos superiores a 3 mm que permitam fuga do betão (caso exista algum espaço cuja dimensão seja superior a 3 mm, esta deve ser preenchida com recurso a espuma de poliuretano expansível, preenchendo a totalidade do espaço, sendo o excesso cortado após secagem)

- Fixações, que todas as fixações de união entre painéis e entre painéis e lajes foram colocadas;

O processo de betonagem é realizado numa só operação, enchendo progressivamente as paredes e posteriormente a laje. O enchimento das paredes, deve ser efetuado progressivamente através de transbordo, sendo o betão colocado não diretamente no interior do núcleo, mas sim em cima da laje e transbordando para a parede, preenchendo cada pórtico do núcleo até uma altura máxima de 1m, percorrendo o perímetro das paredes, deve-se betonar o resto da laje vibrando e nivelando de forma a obter uma superfície lisa e pronta a receber acabamento.

Para a colocação de um 2.º piso, dever-se-á a seguir à betonagem, colocar os reforços de continuidade estrutural (parede-parede), estes são compostos por varão de aço nervurado.

Todo o sistema é composto por elementos de empresas certificadas e acreditadas nos seus processos de fabrico, sendo os seus produtos objeto dos mais elevados padrões de qualidade.

Todos os materiais, aquando a sua receção, são conferidos, de forma a verificar que coincidem com a nota de encomenda.

Os painéis Soliterm+, na fase final de fabrico, são submetidos a uma medição final, de forma a garantir que as suas dimensões são as exatas de acordo com os desenhos de produção, sendo admitida uma tolerância máxima de 5 mm em qualquer das dimensões.

Verificação das características de segurança, habitabilidade e durabilidade

Todo e qualquer edifício construído utilizando o Sistema Soliterm+ é alvo de um projeto de análise de estabilidade e resistência sísmica.

A segurança em caso de incêndio é assegurada com a utilização de materiais não combustíveis e com resistência apropriada para o tipo de utilização do edifício, em tudo cumprindo com a legislação nacional em vigor.

O sistema Soliterm+ visa a obtenção de edifícios com um bom desempenho energético, com níveis de conforto térmico e acústico largamente acima do especificado pela legislação nacional em vigor.

O processo construtivo proporciona uma estrutura totalmente estanque ao ar, de tal forma que contempla sempre a utilização de um sistema de ventilação mecânica que visa a renovação do ar interior. O sistema utilizado (denominado H.R.V. - *Heat Recovery Ventilation*) permite uma recuperação até 80% do calor sensível e do calor latente simplesmente através do cruzamento de fluxos, aliado a um baixo consumo energético.

A estanquicidade à água encontra-se garantida nomeadamente através de membranas, telas asfálticas, telhas, etc, na cobertura, de barramentos, membranas elásticas, nos paramentos exteriores e finalmente através de boas caixilharias.

O isolamento sonoro obtido com o Sistema Soliterm+ é de elevada qualidade, superando várias vezes o estipulado pela legislação nacional, a sua elevada massa com diferentes níveis de densidade (80 mm XPS – 100 mm betão – 60 mm XPS) proporcionam um elevado nível de isolamento acústico.

O isolamento térmico proveniente do sistema Soliterm+ permite atingir os parâmetros exigidos pelo mais alto *standard* de eficiência energética em todo o mundo, o *standard Passivhaus*; o painel de parede possui um coeficiente global de transmissão de calor de $0.22\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$, podendo atingir $0.15\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$, com um ligeiro aumento da espessura de isolamento no exterior. Este fator aliado à inexistência de pontes térmicas, permite que um edifício Soliterm+ poupe, em média, 80% da energia associada à climatização, quando comparado com edifícios de construção tradicional.

Todo o edifício é projetado visando obter uma “caixa” exterior com um forte isolamento térmico e acústico. As caixilharias utilizadas possuem um valor combinado de $1.2\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$, com recurso a vidro duplo ou triplo, caixa de ar preenchida a Argon a 90%.

Todos os elementos passíveis de deterioração, encontram-se protegidos. Os elementos metálicos estruturais são tratados com processo de galvanização de acordo com a norma EN10326, o varão de aço nervurado está envolto em betão que se encontra revestido

com XPS e este tem um revestimento superficial com reboco armado com malha de fibra de vidro e posterior acabamento final.

Na figura 4.3 apresenta-se uma imagem térmica de uma casa construída com o sistema Soliterm+ onde se pode verificar a continuidade do isolamento térmico, tanto nas paredes como nos envidraçados, através das baixas temperaturas obtidas na face exterior. Apenas o caixilho da janela se apresenta como zona de maior passagem do calor.



**Figura 4.3 - Construção Soliterm + (FONTE:
<http://www.somafre.pt> a 30/10/2010)**

4.2. Casa protótipo

A casa protótipo foi construída de acordo com o sistema Soliterm+ e está implementada em Moura (N 38° 13' 28,22", W 7° 45' 34,68"), apresenta uma área total de cerca de 50 m² e um volume de aproximadamente 160 m³ e tem apenas um piso acima do solo. Na figura 4.4 pode observar-se a planta da casa protótipo. Há três zonas diferenciadas: o espaço polivalente, a copa e as instalações sanitárias (IS).

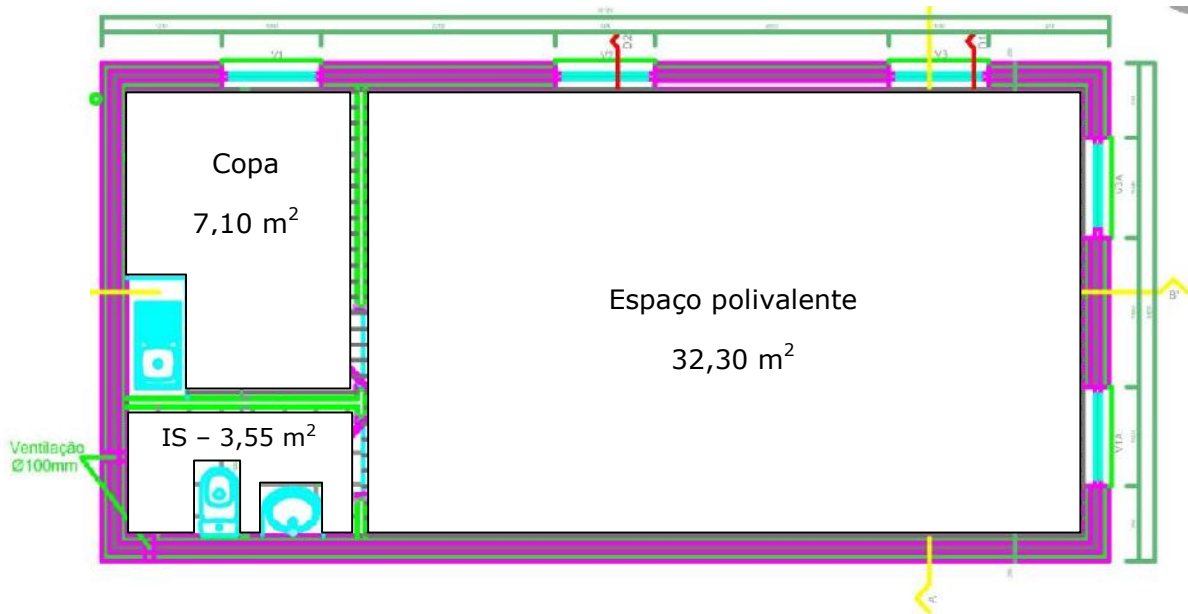


Figura 4.4: Planta da casa protótipo com as três zonas (Housemaster, 2011)

Através da figura anterior é também possível verificar que dispõe de cinco janelas, quatro delas correspondentes ao espaço polivalente e uma à copa.

A fig. 4.5 mostra um corte transversal de uma parede exterior com a respetiva legenda. Esta é representativa do sistema em análise, o soliterm+.

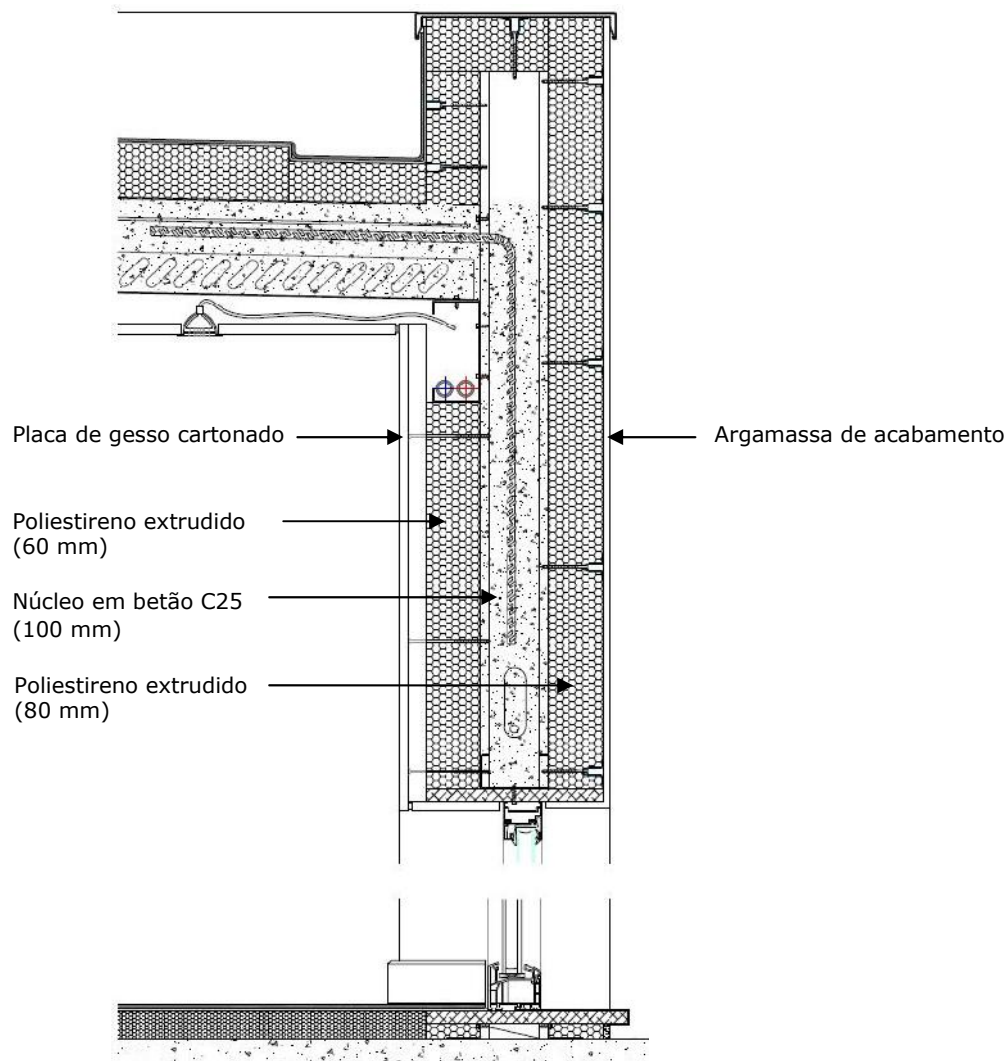


Figura 4.5 – Corte transversal de uma parede exterior e cobertura (sistema Soliterm+)

Na tabela 4.1 apresentam-se os vários componentes da casa com os respetivos materiais. Toda esta informação foi posteriormente introduzida no *software Trnsys*.

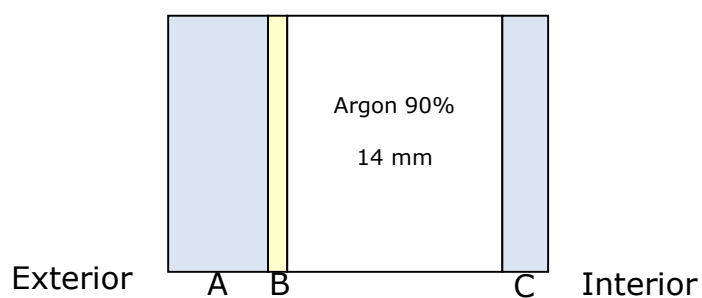
Tabela 4.1 – Características dos principais componentes do sistema construtivo Soliterm+

| Estrutura | Materiais |
|--------------------|------------------|
| Paredes exteriores | Argamassa |
| | XPS (80mm) |

| Estrutura | Materiais |
|--------------------|------------------|
| | Betão_C25 |
| | XPS (60mm) |
| | Gesso |
| Cobertura | Argamassa |
| | XPS (80mm) |
| | Betão_C25 |
| | Ar |
| | Gesso |
| Pavimento | MDF_flutuante |
| | Floormate200 |
| Paredes interiores | Gesso |
| | Mineral_WO |
| | Gesso |

É importante também apresentar a constituição das janelas, uma vez que os elementos transparentes da casa protótipo vão ter uma grande influência no comportamento térmico global da casa. Possuem todas as mesmas dimensões: 1 metro de largura e 2 metros de altura com uma superfície de 2 m².

Assim, na figura 4.6 apresenta-se um corte transversal do vidro de uma janela da casa e na qual é possível ver a sua constituição.



A – 1.º vidro: Planilux 6,0 mm **B** – Capa: Planitherm Futur N **C** – 2.º vidro: Planilux 4,0 mm

Figura 4.6 – Corte transversal de um vidro da casa protótipo

Trata-se de um sistema composto com dois vidros claros e o espaço intermédio preenchido com uma mistura de ar e árgon. O vidro exterior tem na face que fica em contacto com a câmara intermédia uma película que lhe permite reduzir o fator solar do conjunto e também o coeficiente global de transmissão de calor.

5. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO

5.1.1. Trocas de calor nos edifícios

O balanço energético de um edifício tem de ser dividido em dois períodos – verão e inverno, pois o sentido dos fluxos de calor vai ser diferente em cada um destes períodos. Assim o balanço energético pode ser representado pela equação:

$$Q = Q_{cond} + Q_{vent} - Q_{GI} - Q_{rad,sol} \quad (5.1)$$

Com:

Q_{cond} - Trocas de calor devidas à transmissão através dos diversos elementos da envolvente, quer opacos, quer transparentes;

Q_{vent} - Trocas de calor devidas à ventilação do espaço;

$Q_{rad,sol}$ - Ganhos térmicos devido à radiação solar;

Q_{GI} - Ganhos térmicos devido aos equipamentos interiores, ocupação e iluminação.

No caso de se considerarem positivos os fluxos de calor que entram no edifício, então quando o valor de Q , resultante do balanço, for positivo, isso significa que é necessário remover calor do interior para garantir que a temperatura não aumente; neste caso costuma designar-se por carga de arrefecimento. Se, pelo contrário o seu valor for negativo, costuma designar-se o seu valor por carga de aquecimento e passa a ser necessário fornecê-lo.

Os fluxos de calor devidos à radiação solar transmitida através das superfícies transparentes são sempre positivos, à semelhança dos ganhos devidos às atividades no interior, seja pelos ocupantes, pela iluminação ou pelos equipamentos.

Estes fluxos de calor são também designados por cargas sensíveis porque todos eles têm associada uma variação de temperatura dos meios materiais com os quais interatuam, incluindo a do próprio ar interior.

Por outro lado há as cargas latentes, as quais estão associadas a variações de humidade do ar interior, podendo também os materiais existentes desempenhar um papel de acumuladores de humidade, em alguns casos.

A ventilação pode contribuir com um termo não desprezável no balanço de cargas latentes, tal como os ocupantes, embora no caso da habitação não seja tão relevante como nos edifícios de serviços em que este termo é manifestamente superior, como, por exemplo, no caso de escolas.

Na Figura 5.1 apresenta-se um desenho esquemático exemplificando o balanço energético num edifício para o período de verão e de inverno.

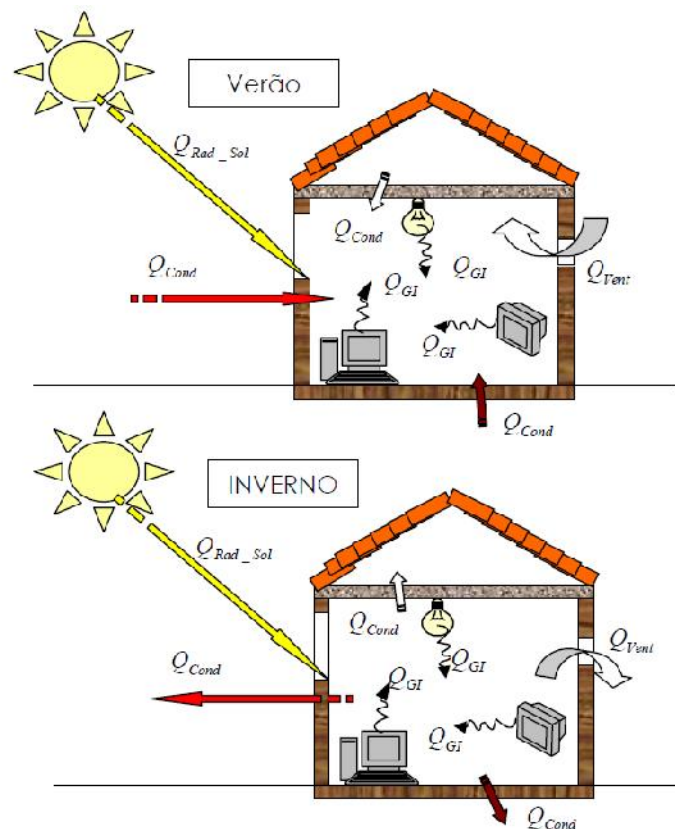


Figura 5.1 – Balanço energético no edifício (FONTE: Silva, 2006)

Em edifícios de habitação, uma das principais trocas de calor ocorre, geralmente, através dos elementos transparentes (janelas, claraboias e outros elementos). As trocas térmicas que se dão por condução e convecção através dos vidros apresentam um comportamento

semelhante ao dos elementos opacos. No entanto, a radiação é a principal forma de transmissão de calor devido à fração que é diretamente transmitida através do vidro para o interior.

A envolvente não opaca pode ser considerada um fator fundamental no controlo da radiação, ventilação e iluminação natural (mais dinâmica, mais fácil de adaptar/ajustar para obter o efeito desejado nas condições de interior). Assim, o elemento transparente apresenta um maior grau de controlo e flexibilidade para se adaptar às variações climáticas em comparação com a envolvente opaca. É, como tal, considerado o elemento mais flexível e interessante do edifício. Além disso, o vidro e outros materiais transparentes e translúcidos são considerados essenciais para o sucesso da implementação da maioria dos sistemas passivos de aquecimento solar (quando apresentam uma boa orientação solar) (Tavares *et al.*, 2010).

5.1.2. Isolamento Térmico

O isolamento térmico tem como função principal o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como o risco de condensações.

As janelas são os elementos de um edifício que oferecem menos resistência à passagem do fluxo de calor. Numa casa típica, cerca de um terço do calor total perdido durante o inverno ocorre através das janelas. Por outro lado, no verão o fluxo de radiação solar para o interior aquece indesejavelmente as casas.

Os sistemas de isolamento térmico, aplicados de forma contínua e pelo exterior dos edifícios, contribuem para a otimização do desempenho energético dos edifícios.

Em Portugal o isolamento térmico é utilizado na construção de edifícios desde a década de 1950 e é uma componente essencial para o bom desempenho energético dos edifícios.

Obrigatório no setor da construção desde 1991, com a entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), cuja publicação foi feita através do Decreto-lei n.º 80/90, de 6 de fevereiro, o isolamento térmico tanto pode ser aplicado pelo interior das paredes da envolvente de um edifício, como colocado na caixa de ar entre paredes duplas, como ainda ser assente pelo exterior de um edifício.

Um sistema de isolamento térmico com características técnicas e espessura adequadas, aplicado de forma contínua e pelo exterior dos edifícios (pavimento térreo, paredes envolventes e coberturas), contribui melhor para a otimização do desempenho energético de um edifício, do que qualquer outro sistema equiparável, excluindo casos de ocupação intermitente do edifício em que se pretende, objetivamente, uma inércia térmica fraca para promover o rápido aquecimento (ou arrefecimento) do local, nos períodos de ocupação (ADENE - Agência para a Energia).

Bojic *et al.*, 2001 analisaram a influência do uso de isolamento térmico em diferentes posições na parede (parte interna, externa e no meio de outros materiais) utilizando o programa de simulação HTB2. Analisaram a razão entre a carga de arrefecimento e a carga máxima de arrefecimento anual, em dois apartamentos residenciais situados em Hong Kong. O apartamento 1 possui uma área total de 45m² e tem a fachada principal voltada para sudeste. O apartamento 2 possui uma área total de 73m² e a sua fachada principal é voltada para sudoeste. Foram criadas situações de ocupação, iluminação e do sistema de ar condicionado para os dois apartamentos analisados. Observou-se que a colocação do isolamento na parte interna da estrutura reduziu a carga de arrefecimento anual para ambos os apartamentos. Na análise da procura máxima de arrefecimento anual relativamente ao posicionamento do isolamento, observou-se que a localização do isolamento na parte externa da estrutura reduziu a carga de arrefecimento do apartamento quando comparado ao caso base (sem isolamento). No apartamento com menores dimensões, a maior redução ocorreu quando o isolamento foi colocado na parte interna da estrutura. As diferenças observadas estão relacionadas com as diferentes orientações dos apartamentos, com a diferença de área total construída e também com as diferentes taxas de ocupação. No apartamento maior, previu-se a ocupação de 4 pessoas, sendo que uma dessas permanecia na edificação o dia inteiro. No apartamento

menor adotou-se a ocupação de um casal, o qual não permanecia na edificação durante o dia. Além disso, a alternativa da ventilação noturna afetou a carga de arrefecimento e do pedido máximo de arrefecimento anual para os dois apartamentos.

As consequências do aumento do isolamento térmico no período de verão foram analisadas por Chvatal, 2005a em edifícios residenciais e comerciais de Portugal, com base no consumo anual de energia elétrica da edificação. Os edifícios foram simulados através do programa TRNSYS, onde foram inseridos os dados de entrada de cada edificação, combinando estes dados com diversas possibilidades de sombreamento exterior. Os resultados mostram que o uso de sistemas de ar condicionado em edifícios residenciais no verão apresenta uma redução de até 8% com o aumento do isolamento nas paredes quando o sombreamento externo é de cerca de 75%.

Chvatal, 2005b e Chvatal, 2005a analisaram também o desempenho térmico de edifícios residenciais e comerciais em Portugal relativamente ao aumento do isolamento térmico da envolvente, empregando ventilação noturna. Foram adotados diversos parâmetros, os quais foram simulados através do programa TRNSYS para o período de verão. Observou-se que os resultados encontrados com o aumento do isolamento térmico e a utilização da ventilação noturna vão depender do fator de proteção das janelas. Para a edificação residencial nota-se que quando as janelas possuem um baixo fator de proteção, o desconforto aumenta conforme se aumenta o isolamento térmico das paredes. Entretanto, quando se aumenta a proteção das janelas, o desconforto diminui com o aumento do isolamento térmico. E com a utilização da ventilação noturna, o desconforto diminui ainda mais pelo facto de que esta alternativa contribui para remover o calor acumulado dentro da edificação durante o dia. Em relação a edificação comercial observou-se que o desconforto é maior que para a edificação residencial mesmo com fatores de proteções solares eficientes. Sem a ventilação noturna, há sempre um grande desconforto, mesmo com ganhos solares baixos, com o aumento do isolamento térmico. Nota-se que o desconforto é constante (em torno de 100%), mas com a utilização da ventilação noturna o desconforto diminui entre 70%-80%. Analisando os resultados para o período de verão em Portugal, observa-se que os ganhos solares devem ser cuidadosamente controlados, especialmente quando não há a possibilidade de haver ventilação noturna. Quando os ganhos solares não são controlados, a edificação tem uma tendência a tornar-se mais

desconfortável com o aumento do isolamento térmico. Já com a utilização da ventilação noturna, as edificações analisadas demonstraram um maior período de conforto durante o dia.

Farhanieh & Sattari, 2006 analisaram a utilização de isolamento térmico nas paredes de edificações residenciais localizadas no Irão, com a tentativa de identificar uma possível redução no consumo de energia elétrica. O estudo concentrou-se na análise da transferência de calor através das paredes externas dos edifícios, e concluiu que o uso de isolamento térmico proporcionou uma redução de 35% no consumo mensal de energia elétrica.

5.1.3. Pontes térmicas

Devido às pontes térmicas, o fluxo de calor pode ter uma componente lateral muito elevada, podendo atingir os 50%, reduzindo assim, de forma significativa, a resistência térmica da envolvente do edifício. Adicionalmente, as pontes térmicas contribuem para a redução da temperatura superficial dos elementos no inverno, o que pode aumentar o risco de condensações e crescimento de bolor, além de originarem a heterogeneidade de temperaturas superficiais. De acordo com Ben-Nakhi, 2003, as pontes térmicas podem ocorrer devido a:

- Alterações nas propriedades térmicas da envolvente do edifício na direção lateral – interface entre as vigas de betão e as paredes de alvenaria;
- Alterações de espessura da construção – um envidraçado inserido numa parede;
- Diferença entre a área superficial interior e exterior – cantos;
- Geração de calor dentro de um elemento de construção do edifício – tubagem de água quente.

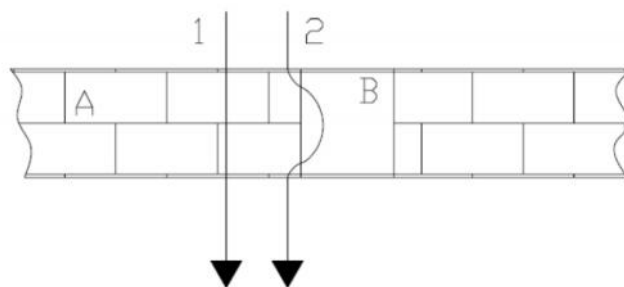


Figura 5.2 – Fluxo de calor ao longo de um elemento de construção (Horsens Polytechnic, 2001)

O tratamento das pontes térmicas é executado essencialmente a partir do reforço da resistência térmica da zona da ponte térmica. Assim, este tratamento pode ser local – aplicação de isolamento apenas na zona da ponte térmica – ou geral – aplicação de materiais, isolantes ou não, para aumentar a resistência global da envolvente.

5.1.4. Inércia térmica

A inércia térmica é mais relevante especialmente em locais sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo, uma das principais características do clima em Portugal. Tendo em conta as características de construção do nosso país, a utilização de materiais pesados e maciços faz com que se confira uma maior estabilidade térmica nos edifícios.

Como é indicado pela palavra “inércia”, estes materiais pesados interagem muito lentamente com o ar que os rodeia e armazenam as temperaturas médias que se situam entre os valores extremos que se verificam no ar exterior.

Em Portugal, a temperatura média do clima, durante a maior parte do ano, mantém-se entre os 18°C e os 26°C, contribuindo a inércia térmica, por este motivo, para uma estabilidade do clima no interior e para o conforto (Barros, 2009).

Tudo passa pela construção de edifícios habitacionais com estruturas pesadas, muito bem isoladas termicamente, que permitam uma relação direta com o ambiente interior.

Para otimizar o contributo da inércia térmica, é importante evitarmos que os materiais pesados (o betão, os tijolos, os rebocos) sejam predominantemente revestidos com outros materiais leves (tetos falsos, alcatifas, madeiras...). Qualquer destes materiais leves de revestimento funciona como um isolante e interrompe o intercâmbio térmico que se pretende manter entre os materiais com elevada inércia térmica e o ambiente interior. Isto não significa que não seja adequado integrar, numa habitação, um pavimento em madeira, também porque é muito elevado o conforto táctil sentido ao tocarmos um material com baixo grau de inércia térmica, como a madeira.

A inércia térmica implica a utilização de materiais pesados na construção – betão, tijolos, rebocos, estuques, pedra, etc., que dado o modo como são aplicados, exigem tempos de secagem que tornam a construção mais lenta. Na ótica do curto prazo, em que a pressão financeira é grande para o produto imobiliário ser rapidamente comercializado, os tempos de construção tornam-se uma importante condicionante a minimizar e, por sua vez, torna-se irresistível a tentação de construir edifícios leves (com estruturas metálicas ou em madeira). É de extrema importância que sejam otimizados os prazos de execução em obra para soluções construtivas que ofereçam a inércia térmica adequada e necessária neste clima, para se evitar que sejam substituídas por soluções que não contribuem para o bom desempenho energético do edifício (Construção sustentável, s/data).

Em toda a faixa de clima mediterrânico, a inércia térmica é uma medida essencial para a otimização do desempenho energético-ambiental de edifícios habitacionais, porque constitui uma fonte de energia térmica estabilizante durante toda a duração dos edifícios.

5.2. Conforto Térmico

O conforto térmico tem sido definido como "um estado no qual não há impulsos para corrigir o ambiente através do comportamento". A "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers" (ASHRAE) definiu este conceito como "a condição da mente em que a satisfação é expressa com o ambiente térmico". Como tal, será influenciado por diferenças de indivíduo para indivíduo com base no humor, cultura e outros fatores individuais, organizacionais e sociais. Com base nas definições acima

apresentadas, o conforto não é uma condição de estado, mas sim um estado de espírito (Djongyang *et al.*, 2010).

As sensações térmicas são muito diferentes de pessoa para pessoa, inclusivamente no mesmo ambiente sujeitas às mesmas condições ambientais. De facto, as pessoas ocupando espaços semelhantes, submetidas ao mesmo clima e pertencentes a uma cultura comum, emitem opiniões muito diferentes relativamente ao conforto térmico (Kuchen & Fisch, 2009).

Convencionalmente, o desconforto térmico é tratado como uma condição subjetiva, enquanto a sensação térmica é uma sensação objetiva. Segundo Djongyang *et al.*, não há realmente nenhum padrão absoluto de conforto térmico. Em geral, o conforto ocorre quando a temperatura do corpo é mantida dentro de limites definidos, a humidade da pele é baixa e os esforços de regulação fisiológica são mínimos.

Os padrões de conforto térmico determinam o consumo de energia de um edifício, por isso, desempenham um papel muito importante na “rota” da sustentabilidade (Alison *et al.*, 2010).

Com a necessidade urgente de reduzir os custos económicos e ambientais relacionados com o consumo de energia, investigações relacionadas com o conforto térmico em ambientes fechados têm atraído autores ao longo de décadas. Pode referir-se o estabelecimento de modelos e de índices, a realização de experiências em câmaras climáticas e inquéritos, a realização de trabalhos de campo e o estabelecimento de normas de conforto térmico e respetivos métodos de avaliação, etc. (Fanger, 1970 *et al.*, 1986; Nakano *et al.*, 2002; Lin & Deng, 2008; Han *et al.*, 2007). Os resultados mais importantes serviram de base às normas nacionais e internacionais. As normas definem os intervalos de temperatura em que pelo menos 80% dos ocupantes de um espaço estão satisfeitos termicamente.

Inicialmente, as normas internacionais de conforto basearam-se em modelos matemáticos desenvolvidos por Fanger, com base em experiências realizadas em câmaras climáticas. Essas normas são adequadas para situações estáticas, com condições térmicas uniformes e baseadas na hipótese de que, independentemente da idade, raça e sexo, os

seres humanos sentem-se confortáveis num intervalo estreito e bem definido de condições térmicas (ANSI/ASHRAE, 2004).

Atualmente existem duas abordagens diferentes para a definição de conforto térmico, cada uma com as suas potencialidades e limites, a abordagem racional e a abordagem adaptativa. A abordagem racional apoia-se nos dados resultantes dos estudos da câmara climática, na qual os trabalhos de Fanger são fundamentais, enquanto que a abordagem adaptativa utiliza dados de estudos de pessoas no interior de edifícios.

Através de algumas experiências verificou-se que o desconforto associado ao frio está fortemente relacionado com a temperatura média da pele e que o desconforto associado ao calor está estreitamente ligado com a humidade na pele causada pela secreção do suor. A sensação de insatisfação pode ser causada pelo corpo como um todo (estar demasiado frio ou quente) ou pelo aquecimento ou arrefecimento indesejável de uma determinada parte do corpo (desconforto local). Podem ainda existir situações de desconforto local causadas pela assimetria da radiação, por uma corrente de ar, pelo contacto com o chão demasiado quente ou frio e por gradientes de temperatura existentes na vertical, além de outros fatores. Estas relações são a base de métodos como o de Fanger que incorpora os seis fatores mencionados por Macpherson e do modelo dos dois nós de Gagge.

Em 1962, Macpherson definiu as seguintes variáveis que afetam a sensação térmica: quatro variáveis físicas (temperatura do ar, velocidade do ar, humidade relativa, temperatura média radiante) e duas variáveis pessoais (vestuário e nível de atividade, ou seja, a taxa metabólica) (Lin & Deng, 2008). Um indivíduo está em equilíbrio térmico com o exterior quando a energia produzida no interior do organismo é idêntica à perda pelo mesmo para o exterior. A energia pode ser trocada com o exterior sob a forma de calor sensível ou latente. A perda de calor sensível está associada a processos de transmissão de calor por condução, por convecção e por radiação: a condução de calor efetua-se através dos tecidos do organismo e do vestuário, a convecção realiza-se entre o corpo (ou vestuário) e o ar circundante e depende da temperatura e da velocidade do ar, enquanto que as trocas radiativas dependem, para além de outros fatores, da temperatura média do corpo e das superfícies envolventes. Finalmente, a perda de calor latente está

associada à respiração pulmonar e cutânea e à transpiração e depende da temperatura, da humidade relativa e da velocidade do ar, entre outras variáveis de menor importância.

A norma ISO 7730 considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis. A quantificação da percentagem de desconforto foi feita através de estudos que envolveram 1300 pessoas. Estes estudos permitiram estabelecer uma relação entre o resultado do balanço energético do corpo e a tendência de insatisfação, designada por PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*).

A metodologia de cálculo consiste nos seguintes pontos:

- **Parâmetros:** quantificam-se os parâmetros dependentes das pessoas (vestuário e atividade e também a temperatura da pele e a taxa de transferência de calor evaporativo que dependem da atividade) e do ambiente (temperatura e humidade do ar, velocidade local do ar e temperatura média radiante).
- **Equação de Conforto:** substituem-se estes valores na equação de conforto térmico para determinação do termo associado à acumulação energética no corpo, S.
- **PMV:** com base no valor da acumulação energética no corpo e no metabolismo determina-se o valor de PMV (*Predicted Mean Vote*) através de uma correlação. O PMV não é mais do que uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio.
- **Insatisfação:** a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente, PPD, é determinada com base no valor de PMV através de outra correlação.

5.2.1.1. Parâmetros do Conforto

➤ Temperatura média do ar (Ta)

A temperatura do ar que circunda o corpo de um indivíduo, influencia os processos de transmissão de calor por convecção natural, forçada, ou mista e por evaporação. A sua medição não deve ser influenciada por fenómenos radiantes. A metodologia utilizada para a sua medição está descrita na ISO 7726 (Conceição, 1996).

➤ **Velocidade média do ar (U)**

A velocidade média do ar influencia os processos de perda de calor por parte do organismo, nomeadamente, o processo de transmissão de calor por convecção, e por evaporação (ISO 7726). O valor médio da velocidade do ar deve ser medido numa zona típica de ocupação por parte de um ser humano (Conceição, 1996).

➤ **Humidade Relativa (RH)**

A humidade relativa influencia os processos de perda de calor por evaporação (ISO 7726).

As equações de balanço energético são deduzidas com base na pressão parcial do vapor de água no ar. Definido o estado higroscópico do ar, em termos de temperatura seca, T em °C, e da humidade relativa, HR entre 0 e 100, a pressão parcial do vapor de água, p_{vap} em Pa, é obtida pela equação (Águas, 2000):

$$p_{vap} = \frac{HR}{100} \times p_{sat}(T) \text{ com } p_{sat}(T) = 1000 \times e^{\left(16.6536 - \frac{4030.183}{T+235}\right)} \quad (5.2)$$

Em ambientes térmicos moderados, a influência da humidade relativa é muito pequena. A sua preponderância reflete-se mais a nível da qualidade do ar (Conceição, 1996).

➤ **Temperatura média radiante (Tr.)**

A temperatura média radiante, T_r , influencia a troca de calor sob a forma de radiação entre uma pessoa e as superfícies que se encontram em seu redor. A radiação depende da quarta potência da temperatura absoluta, da geometria e da superfície do indivíduo.

A temperatura média radiante pode ser determinada de duas formas: com base na medição da temperatura das superfícies circundantes e na localização destas em relação ao indivíduo (ISO 7726) ou usando um transdutor que simule o corpo humano e integre a radiação das superfícies circundantes. Este termo é particularmente difícil de definir com exatidão, quer pela dificuldade em corretamente avaliar os fatores de forma, quer pela influência da componente refletiva (Águas, 2000).

Se a temperatura média do corpo for superior à das superfícies circundantes haverá um processo de perda de calor por radiação por parte do organismo, caso contrário, haverá um ganho.

➤ **Vestuário**

O nível de vestuário normalmente comporta-se como uma resistência de calor sensível I_{cl} . A unidade de medida é definida por clo, que deriva da palavra inglesa “clothing”, sendo $1\text{ clo}=0,155\text{ m}^2\text{K/W}$.

O valor da resistência térmica provocada pelo vestuário pode ser determinado pela combinação das diversas peças de roupa, ou seja, a partir do somatório das respetivas resistências térmicas (Conceição, 1996).

A tabela seguinte apresenta os valores de resistência térmica, I_{vest} , de diferentes tipos de vestuário.

Tabela 5.1 – Resistência térmica do vestuário

| Vestuário | Resistência térmica (I_{vest}) (clo) | Resistência térmica (I_{vest}) ($\text{m}^2\text{K/W}$) |
|--|--|--|
| Nu | 0 | 0 |
| Calções | 0,1 | 0,016 |
| Vestuário tropical | 0,3 | 0,047 |
| Vestuário leve de verão | 0,5 | 0,078 |
| Vestuário de trabalho | 0,7 | 0,124 |
| Vestuário de inverno para ambiente interior | 1,0 | 0,155 |
| Fato completo | 1,5 | 0,233 |

FONTE: Águas, 2000

➤ Atividade

O nível de atividade representa uma medida da produção interna de calor por parte do organismo de um ser humano. Este nível de atividade é definido por *met*, que deriva da palavra inglesa “metabolism” (Conceição, 1996). O metabolismo subdivide-se no metabolismo basal e de atividade. O metabolismo basal corresponde à taxa verificada durante o repouso absoluto, mas em vigília. O metabolismo de atividade está relacionado com o esforço físico, podendo ser 20 vezes superior ao metabolismo basal em atletas bem treinados (Águas, 2000).

Embora não referido no texto da norma, convém ter em conta que, de acordo com DuBois & DuBois (1916), a área corporal (em m²) está correlacionada com a altura (em m) e com o peso (em kg) pela equação seguinte, com representação gráfica na Fig. 5.3.

$$\text{Area} = 0.202 \times \text{Altura}^{0.725} \times \text{Peso}^{0.425} \quad (5.3)$$

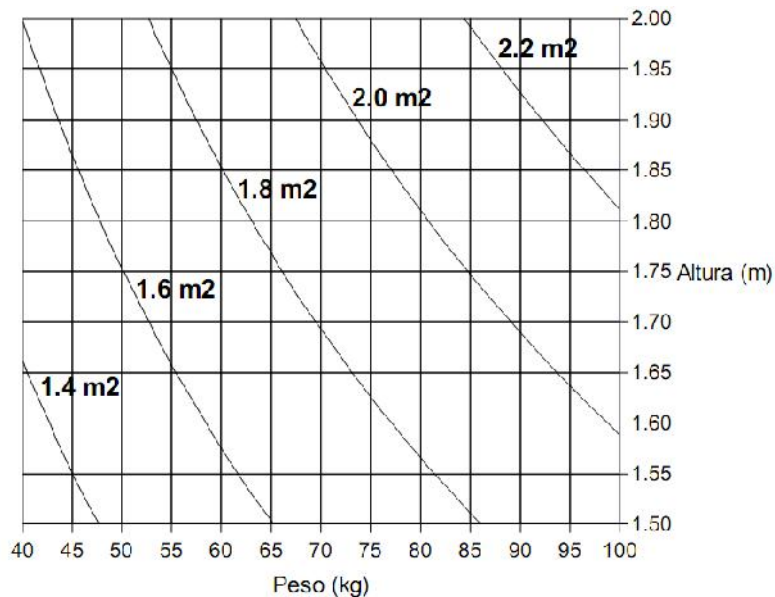


Figura 5.3 – Área corporal em função da altura e do peso (FONTE: Águas, 2000)

Em média, uma pessoa tem uma superfície aproximada de 1,8 m², o que corresponde, quando está em repouso, a uma produção aproximada de 100 Watt (1 *met*=58,15 W/m²).

Tabela 5.2 – Valor de metabolismo para várias atividades

| Tipo de atividade | Metabolismo (W/pessoa) | <i>Metabolismo</i> (<i>met</i>) | <i>Metabolismo</i> (<i>W/m²</i>) |
|-------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Deitado | 85 | 0.8 | 47 |
| Sentado a descansar | 104 | 1.0 | 58 |
| Atividade sedentária | 126 | 1.2 | 70 |
| De pé, atividade leve | 167 | 1.6 | 93 |
| De pé, atividade média | 210 | 2.0 | 117 |
| Grande atividade | 315 | 3.0 | 175 |

FONTE: Águas, 2000

5.2.1.2. Equação de Conforto

Para o cálculo da temperatura de conforto, os métodos com maior aceitação são os referidos na norma ASHRAE 55 de 1992 e na ISO 7730. Para a norma ASHRAE, são apresentados vários gráficos, a partir dos quais e com a utilização de uma Temperatura Resultante (T_r), calculada a partir da equação 5.4, se obtém uma temperatura de conforto para o verão ou inverno:

$$T_r = \frac{r\bar{T}_s + \alpha_c T_a}{r + \alpha_c} \quad (5.4)$$

Com: r - Coeficiente de radiação = $4.9\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
 α_c - Coeficiente de convecção = $2.9\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
 T_a - Temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$)

O parâmetro \bar{T}_s pode ser calculado através de:

$$\bar{T}_s^4 = \sum_{i=1}^N T_i^4 \cdot F_{p-i} \quad (5.5)$$

Com: T_i - Temperatura da superfície i ($^\circ\text{C}$)
 F_{p-i} - Factor de forma entre a pessoa e a superfície i .

Este refere-se à temperatura média radiante, ou seja, a uma temperatura uniforme, de um espaço imaginário que conduz às mesmas trocas de calor por radiação entre um indivíduo e as superfícies reais, cujas temperaturas são diversas.

O fator de forma pode ser obtido através da utilização dos gráficos executados por Fanger e dependem da posição e orientação das pessoas (Fanger, 1982 *in* Silva, 2006).

Por último, antes de se considerar os gráficos de conforto é necessário fazer uma correção à Temperatura Resultante, de forma a contabilizar a atividade Metabólica e o isolamento de vestuário da pessoa, como se pode verificar na equação seguinte (Kreider *et al.*, 1994 *in* Silva, 2006).

$$T_{r,corr} = T_r - (1.0 + clo) \cdot (met - 1.2) \quad (5.6)$$

Com esta Temperatura Resultante é possível consultar o gráfico da Figura 5.4 de forma a conhecer a zona de conforto para o verão e inverno.

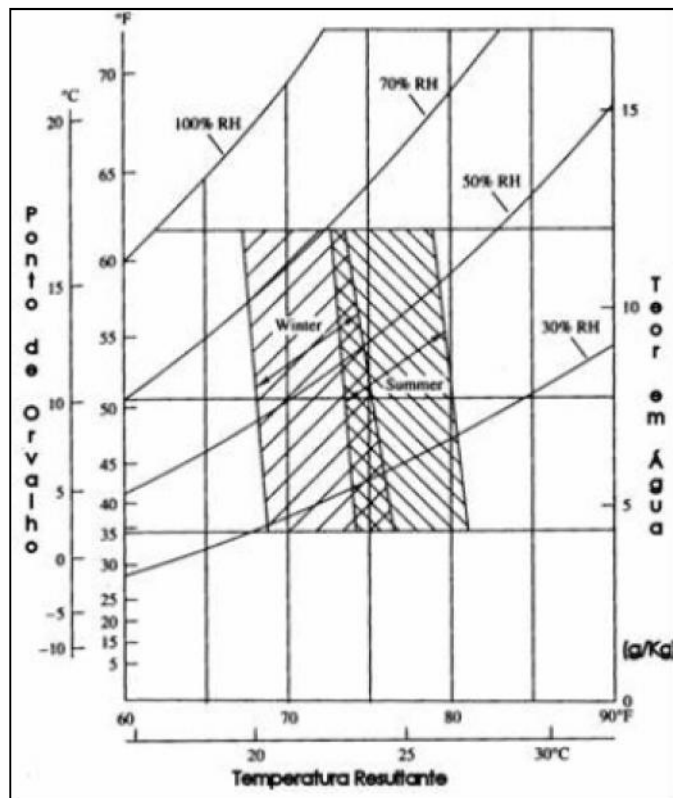


Figura 5.4 – Zonas de conforto para o verão e inverno. (ASHRAE, 1997 in Silva, 2006)

5.2.1.3. Índice PMV

O índice PMV sugerido por Fanger prevê a resposta média de um grande grupo de pessoas de acordo com a escala de sensações térmicas da ASHRAE em que expostas a diversos ambientes, em câmaras climáticas, deram a sua opinião de acordo com uma escala previamente fixada. A votação média (MV) é obtida para uma determinada condição, encontrando-se o valor médio das sensações térmicas experimentadas pelos indivíduos.

$$PMV = [0.303e^{-0.036M} + 0.028]L = \alpha L \quad (5.7)$$

Onde L é a carga térmica do corpo definida como a diferença entre a produção interna de calor e a perda de calor para o ambiente, hipoteticamente mantidos em valores de conforto no nível de atividade e α , o coeficiente de sensibilidade.

O Instituto de Investigação Ambiental da Universidade de Kansas em parceria com a ASHRAE realizou uma ampla pesquisa sobre o tema do conforto térmico em regime sedentário. O objetivo deste estudo foi obter um modelo para expressar o PMV em termos de parâmetros ambientais facilmente medidos. Obteve-se a seguinte expressão:

$$PMV = aT + bP_v - cw \quad (5.8)$$

Onde P_v é a pressão de vapor de água no ar ambiente e T a temperatura. Os coeficientes a, b e c são apresentados na Tabela 5.3. Com esses critérios, considerou-se uma zona de conforto com uma temperatura próxima de 26°C e 50% de humidade relativa. Este estudo foi realizado com pessoas com uma atividade metabólica sedentária, vestidos com roupas normais e com uma resistência térmica de aproximadamente 0,6 clo e com exposição de 3h aos ambientes internos.

Tabela 5.3 - Fontes e características físico-químicas dos poluentes englobados no índice de qualidade do ar

| Período/sexo | a | b | c |
|--------------|-------|-------|-------|
| 1 h/homem | 0,220 | 0,233 | 6,673 |
| Mulher | 0,272 | 0,248 | 7,245 |
| Ambos | 0,245 | 0,248 | 6,475 |
| 2 h/homem | 0,221 | 0,270 | 6,024 |
| Mulher | 0,283 | 0,210 | 7,694 |

| Período/sexo | a | b | c |
|--------------|-------|-------|-------|
| Ambos | 0,252 | 0,240 | 6,859 |
| 3 h/homem | 0,212 | 0,293 | 5,949 |
| Mulher | 0,275 | 0,255 | 8,620 |
| Ambos | 0,243 | 0,278 | 8,802 |

FONTE: ASHRAE, 1997 *in* Silva, 2006

5.2.1.4. Índice PPD

O PPD prevê a percentagem de pessoas que se sentiram mais do que ligeiramente quentes ou frias (isto é, a percentagem de pessoas que tendem a queixar-se do ambiente). Usando a escala de sete pontos de sensação térmica (-3 a +3), Fanger refere que são declarados “desconfortável” todos aqueles que responderam ± 2 e ± 3 . Aqueles que responderam ± 1 e 0 são declarados “confortável”. As percentagens de indivíduos que responderam ± 2 e ± 3 são determinados para cada classe de PMV; essa variável tem sido denominada PPD. A relação entre a PMV e PPD é dada por:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (5.9)$$

O mérito dessa relação é que revela uma simetria perfeita no que diz respeito à neutralidade térmica (PMV = 0). Pode ser visto (Fig. 5.5) que, mesmo quando o índice PMV é 0, existem alguns casos pontuais de insatisfação com o nível da temperatura, embora todos se vistam de forma semelhante e realizem o mesmo tipo de atividade. No entanto, existem diferenças de indivíduo para indivíduo.

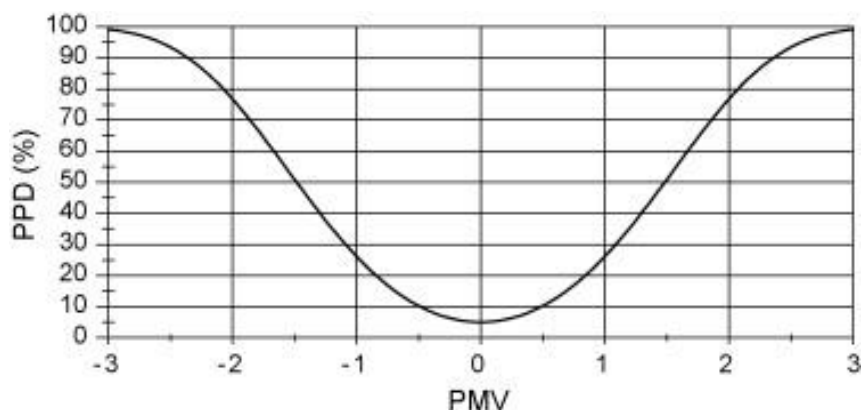


Figura 5.5 – Relação PMV vs. PPD (FONTE: Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010)

As recomendações feitas pela ASHRAE são apresentados na Tabela 5.4. Estas condições foram assumidas para uma humidade relativa de 50%, uma velocidade relativa média inferior a 0,15 m/s, a temperatura radiante média igual à temperatura do ar e uma taxa metabólica de 1,2 met. O isolamento referente ao vestuário foi definido como 0,9 *clo* no inverno e no verão 0,5 *clo*.

Tabela 5.4 – Recomendações ASHRAE

| | Temperatura operativa | Intervalo aceitável |
|---------|-----------------------|---------------------|
| Verão | 22 °C | 20–23 °C |
| Inverno | 24,5 °C | 23–26 °C |

5.3. Ventilação

De uma forma geral e desde que a qualidade do ar exterior seja aceitável, pode-se obter uma boa qualidade do ambiente interior recorrendo a uma adequada ventilação dos espaços. O dimensionamento e a construção de sistemas de ventilação em edifícios de habitação deverão ter necessariamente em conta as fontes de poluição de forma a proceder à evacuação para o exterior das substâncias poluentes, preferencialmente, junto da sua fonte, evitando assim a contaminação do ar interior. Por exemplo, no caso dos aparelhos de combustão de utilização doméstica dos tipos B e C (esquentadores,

caldeiras, etc.) os produtos da combustão deverão ser evacuados diretamente para o exterior. No caso dos aparelhos do tipo A (ex.: fogões de cozinha) deverão, preferencialmente, ser evacuados nas suas proximidades (IPQ, 2002).

A estratégia de ventilação, se for deficientemente concebida ou implementada, pode ser causadora de desconforto, devido, por exemplo, às correntes de ar. Por outro lado, a sua correta conceção e implementação pode contribuir para a remoção da carga térmica no interior dos edifícios, participando na melhoria das condições de conforto térmico.

A qualidade do ar interior pode ser controlada quer através de uma estratégia de controlo na fonte - minimização das fontes emissoras (recorrendo a materiais de construção e revestimento e a mobiliários que apresentem baixos níveis de emissão de poluentes) - quer através da implementação de estratégias de ventilação adequadas, a saber:

- Exaustão localizada: extração dos poluentes junto à fonte de emissão (*hottes*);
- Diluição: diluição da concentração dos poluentes interiores através da insuflação de ar novo no espaço e conseqüente extração do ar interior viciado;
- Remoção: remoção dos poluentes interiores por filtragem. A filtragem aparece geralmente associada ao sistema de ventilação que promove também a diluição (Oliveira, 2007).

O controlo na fonte deve ser privilegiado, já que evita a geração dos poluentes. No entanto, apesar de todo o rigor com que uma estratégia de controlo na fonte seja implementada, será sempre impossível evitar a existência de fontes de emissão de poluentes nos espaços interiores. Assim, correntemente, a ventilação surge como uma estratégia fundamental no controlo da qualidade do ar interior, devendo privilegiar-se a extração localizada quando em presença de fontes de emissão intensas e pontuais, como é caso da cozinha. A diluição e remoção deverão ser encaradas como mecanismos para a eliminação dos poluentes gerados de uma forma dispersa (Amaral M., 2008).

A taxa de ventilação respeitante ao critério de saúde pode ser obtida pela seguinte equação:

$$q = \frac{s}{c_{\infty} - c_e} \quad (5.10)$$

Em que:

- q : caudal volúmico de ar exterior (litro/s);
- s : caudal volúmico emitido pelo poluente (litro/s);
- c_{∞} : valor-limite para a concentração do poluente (litro poluente/litro ar);
- c_e : concentração do poluente no exterior (-).

A QAI ótima pode ser definida como o ar que se encontra livre de poluentes que causam irritação e desconforto e que, por isso, prejudicam a saúde dos que o inspiram. A quantidade de ventilação necessária para garantir uma QAI adequada e aceitável depende da concentração e do tipo de fonte poluente dominante num determinado espaço. Se as características de emissão dos poluentes forem conhecidas, é possível determinar a taxa de ventilação necessária para prevenir que a concentração de poluentes exceda a concentração limite predefinida. Na prática, a identificação da fonte poluente dominante é muito importante, pois é esta a que requer uma maior taxa de ventilação para o seu controlo e monitorização. Deste modo, se a quantidade de ventilação for suficiente para controlar o poluente dominante, esta também será suficiente para manter os poluentes abaixo das respetivas concentrações limites (Santamouris *et al.*, 1998).

O paradigma da utilização da ventilação, para garantir uma QAI adequada e minimizar a exposição dos ocupantes a determinados poluentes, surge devido à variedade de fontes e poluentes. Para poluentes provenientes fontes interiores, como o formaldeído e COVs, a sua dispersão é restringida pelo invólucro do edifício e deve ser garantida a troca de ar entre o exterior e interior. Por outro lado, para poluentes essencialmente com fontes exteriores, como os pólenes, a renovação de ar do exterior deve ser reduzida, para minimizar o nível de exposição a este tipo de poluentes. Para poluentes com origem em fontes exteriores e interiores, por exemplo as partículas, óxidos de azoto e monóxido de azoto, a garantia da renovação de ar, vai depender da intensidade dos poluentes entre o exterior e o interior (Matos, 2009).

Na prática, recorre-se à prescrição de renovações por hora (RPH [h^{-1}]) para toda a habitação ou renovações/caudais volúmicos para compartimentos específicos, com base na sua ocupação ou nas atividades que aí se desenvolvem. A humidade relativa é frequentemente o fator determinante no estabelecimento dos caudais de extração nos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias). As admissões situam-se nos compartimentos principais (quartos e salas) de modo a prover oxigénio metabólico e diluir poluentes e odores dos ocupantes (Amaral M., 2008). Apresenta-se na tabela seguinte um resumo das principais prescrições de ventilação para edifícios habitacionais em Portugal.

Tabela 5.5 – Resumo de prescrições de ventilação para edifícios habitacionais

| País (Fonte) | Salas | Quartos | Cozinha | Inst. Sanitária com banho | Inst. Sanitária sem banho |
|---|--|--|---|--|--|
| Portugal (NP 1037-1: 2002) | Ad. (VN): > 30 m^3/h e 1 RPH; com lareira > 4 RPH | Ad. (VN): > 30 m^3/h e 1 RPH | Ex. (VN)(d): > 60 m^3/h e 4 RPH | Ex. (VN): > 45 m^3/h e 4 RPH | Ex. (VN): > 30 m^3/h e 4 RPH |
| Portugal (RSECE-2006) | 30 m^3/h p (não fumadores), 60 m^3/h p (fumadores) | 30 m^3/h p não fumadores 60 m^3/h p (fumadores) | | | |
| <p>Notas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abreviaturas: Ad. - Admissão; Ex. - Exaustão; Max. - Máximo; Mín. - Mínimo; cont. - Contínuo; int. - Intermitente; Aab – Área abertura; Apav - Área pavimento; Ajan - Área janela; VN - Ventilação natural; VM - Ventilação mecânica; - a: é necessário prever caudal de admissão de ar para os aparelhos de combustão tipo A e B; - b: quando existirem aparelhos de combustão do tipo B e quando o caudal global exceder 270 m^3/h é necessário uma abertura de ar de compensação; - c: os valores apresentados referem-se à classe II; - d: é necessário prever caudal de admissão de ar para os aparelhos de combustão tipo A (4,3 Potência nominal [kW] m^3/h) e B (Potência nominal [kW] m^3/h). | | | | | |

FONTE: Amaral, 2008

De forma a calcular a taxa de ventilação necessária para a qualidade do ar interior, é necessário conhecer os níveis de poluente admissíveis (Tabela 5.5) e a taxa de produção do poluente em questão. Seguidamente, utiliza-se a equação:

$$C_i = C_0 + \frac{P}{V} \quad (5.11)$$

Em que:

C_i - concentração interior do poluente admissível ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_0 - concentração exterior do poluente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

P – taxa de produção do poluente ($\mu\text{g}/\text{s}$)

V – taxa de ventilação (m^3/s)

Esta equação admite que o ar interior está perfeitamente misturado, o que é uma aproximação bastante aceitável para a maioria dos edifícios (Givoni, 1998).

Normalmente este método de cálculo para previsão da taxa de ventilação necessária apenas é utilizado uma vez, ou seja, identificando o poluente dominante e calculando a taxa de ventilação necessária para o manter abaixo da concentração admissível, os restantes poluentes também vão estar em concentrações abaixo das admissíveis (Allard, 1998).

✓ **Permutadores de Calor**

Um permutador de calor é usado para efetuar a transferência de calor entre dois fluidos (um quente e outro frio), sem que estes se misturem. Os permutadores de calor podem ser do tipo: tubulares, placa, placa alhetada e tubo alhetado.

O coeficiente global de transmissão de calor, U, nos tubos de um permutador é determinado através de:

$$U = \frac{1}{R} \quad (5.12)$$

Em que a resistência térmica total, R, é determinada a partir da soma de todas as resistências individuais (condutivas e convectivas).

A eficiência do permutador é definida como o valor do calor permutado em relação ao máximo que se pode permutar entre duas correntes de fluidos com temperatura de entrada conhecidas. Como a configuração de contracorrente é a que permite a maior transferência de calor é com base nesta que se vai considerar a situação idealizada. A variação de temperatura de cada fluido no permutador é inversamente proporcional à sua capacidade térmica devido à igualdade entre a potência cedida por um fluido e ganha pelo outro. Com base na distribuição de temperatura para o permutador de contracorrente, pode-se observar que a temperatura de saída do fluido com menor capacidade térmica pode atingir a temperatura de entrada do outro fluido. Assim define-se a máxima quantidade de calor transferida como o produto da menor capacidade térmica do fluido pela diferença entre as temperaturas de entrada dos dois fluidos.

$$\dot{Q}_{m\acute{a}x} = (\dot{m}c_p)_{min}(T_e - t_e) \quad (5.13)$$

Em que:

$(\dot{m}C_p)_{min}$ - menor valor da capacidade calorífica dos fluidos quente e frio

t_e - Temperatura do fluido quente de entrada (°C)

T_e - Temperatura do fluido frio de entrada (°C)

Como a definição de eficiência depende do fluido que tem menor capacidade calorífica, mc_p , utiliza-se como nomenclatura letras minúsculas para a temperatura deste fluido e maiúsculas para o outro fluido. Assim, temos:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{m\acute{a}x}} = \frac{(\dot{m}c_p)_{min}(t_s - t_e)}{(\dot{m}c_p)_{min}(T_e - t_e)} = \frac{(t_s - t_e)}{(T_e - t_e)} \quad (5.14)$$

Em que:

– Eficiência do permutador (%)

t_s – Temperatura de saída do fluido de menor capacidade calorífica (°C)

T_s - Temperatura de saída do fluido de maior capacidade calorífica (°C)

5.4. Metodologia

5.4.1. Modelo de desempenho energético – Sistema construtivo Soliterm+

5.4.1.1. O software Trnsys

A simulação computacional possibilita a identificação do efeito de cada fator isoladamente, o que nem sempre é possível num caso real. A utilização de ferramentas computacionais pode ocorrer tanto na fase de projeto como durante a construção do edifício, fornecendo a vantagem e a possibilidade de testar soluções mais eficientes sem a necessidade de intervenção física. Além disso, a facilidade de manipulação das variáveis envolvidas no edifício, o baixo custo e a redução do tempo de simulação contribuem ainda mais para uma maior utilização destes programas computacionais.

Muitos programas computacionais nacionais e internacionais estão sendo desenvolvidos para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. Atualmente, existem diversas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações, sendo a escolha dependente da aplicação pretendida. Segundo o DOE (2006), o Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos existem mais de 330 programas de simulação desenvolvidos em diversos países, como por exemplo: *BLAST*, *DOE2.1E*, *EnergyPlus*, *TRNSYS*, *Tas*, *TRACE*, *eQUEST*, *ECOTECH*, *PowerDomus*, entre outros.

Muitos investigadores acreditam que o uso de programas de simulação computacional para analisar o desempenho térmico de edificações está cada vez mais presente nos projetos, funcionamento e na administração das edificações. Com o avanço rápido dos recursos computacionais, tornou-se possível analisar em menor tempo e com maiores detalhes os efeitos dos diversos parâmetros relacionados com a edificação (Hensen, Lamberts & Negrão, 2002).

A integração entre as ferramentas computacionais com o desenvolvimento do projeto específico é um aspeto importante para o desenvolvimento de edificações

energeticamente mais eficientes (Hensen & Augenbroe, 2004). Portanto, devem-se conhecer as vantagens e as limitações da ferramenta computacional a ser utilizada para a obtenção de resultados coerentes.

O TRNSYS é um programa de simulação de sistemas que contém uma estrutura modular que reconhece uma linguagem de descrição de um sistema em que o utilizador especifica os componentes que o constituem e a forma como são interligados (Klein, 1997).

A natureza modular do TRNSYS dá grande flexibilidade ao programa e facilita a adição ao programa de modelos matemáticos não incluídos na sua biblioteca padrão. Este *software* é constituído por procedimentos para detalhar e analisar qualquer sistema cujo comportamento varia ao longo do tempo.

Devido à sua ampla faixa de equipamentos e sistemas envolvidos, o programa TRNSYS tornou-se um *software* de referência para investigadores e engenheiros. Nas suas principais aplicações incluem-se: sistemas solares (térmicos e fotovoltaicos), sistemas de ar condicionado e ventilação, sistemas de cogeração de energia, células de combustível, etc.

Através de uma linguagem própria do TRNSYS, os componentes são ligados de forma similar à de uma placa ou circuito elétrico, sendo a conexão feita através de tubagem, válvulas e condutas como ocorre num sistema real. O programa realiza as soluções simultâneas necessárias das equações algébricas e diferenciais que representam os componentes e também realiza a organização dos dados de entrada e saída.

Vários níveis de complexidade podem ser utilizados para o cálculo: o utilizador deve definir o grau de detalhe que pretende para a simulação, sendo que para maior detalhe, maior será o custo de programação e tempo de computação. Entretanto, a escolha dos componentes e o desenvolvimento do algoritmo são função do utilizador que deve definir quais as variáveis a incluir no processo em análise, com a definição dos parâmetros de cada componente para conseguir a compatibilidade computacional desejada entre os subprogramas.

5.4.1.2. Construção do Modelo

O modelo do comportamento térmico do sistema Soliterm+ foi desenvolvido no *software* Trnsys e identificaram-se no protótipo em estudo dois “sub-sistemas” energéticos fundamentais:

- A casa protótipo;
- A ventilação.

5.4.1.2.1. A casa protótipo

A casa protótipo dispõe ainda de painéis solares térmicos e fotovoltaicos mas não foram incluídos na modelação. Isto porque o que se pretende é analisar o sistema construtivo Soliterm+. No entanto, analisou-se a produção de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos relativamente ao consumo energético na análise do ciclo de vida energético da casa.

Começou por se criar uma sub-rotina no *Trnsys Studio (Type 56 – Multizone building)* correspondente ao edifício protótipo, uma vez que se trata de um edifício com várias zonas diferenciadas. Devido à complexidade de um edifício multizona os parâmetros do TYPE 56 não são definidos diretamente no arquivo de entrada do Trnsys (Studio) e por isso, são criados dois ficheiros que contêm todas as informações: a descrição do edifício (*.BLD) e as equações de transferência de calor associadas às paredes da ASHRAE (*.TRN).

O *TRNBUILD* é uma *interface* do *Trnsys* que foi concebida para ser uma ferramenta de fácil utilização para criar os edifícios multizona e que facilita a criação das diversas zonas. É possível recorrer à base de dados do software em termos de materiais de construção, existindo também a possibilidade de definir as propriedades dos nossos materiais de construção, caso não estejam disponíveis na base de dados referida, solução utilizada para este caso específico.

A tabela 5.6 apresenta as características dos materiais mais relevantes que constituem a casa protótipo e que são fundamentais para a modelação da casa, tendo sido inseridos no TRNBUILD.

Tabela 5.6 – Características dos principais componentes do sistema construtivo Soliterm+

| Materiais | Condutibilidade Térmica (J/s m K) | Calor Específico (J/Kg K) | Massa Específica (Kg/m³) |
|--|--|--------------------------------------|--|
| Poliestireno expandido extrudido (XPS) | 0,475 | 800 | 40 |
| Betão C25 | 21,86 | 1000 | 2300 |
| Gesso cartonado | 16,07 | 828 | 900 |
| Argamassa | 16,71 | 828 | 1800 |
| Floormate 200 | 0,45 | 1250 | 25 |
| MDF (pavimento flutuante) | 2,06 | 1700 | 700 |
| Mineral_Wool | 0,57 | 900 | 80 |

Também no TRNBUILD são definidas as janelas e portas presentes no edifício. No entanto, para este caso, apenas é possível selecionar as opções da base de dados disponíveis no *software* e não especificar as propriedades das janelas. Para isso foi necessário recorrer a outro *software*, o *WINDOW 6*.

Trata-se de um *software* para o cálculo de todos os índices de desempenho térmico das janelas (Valores do coeficiente de transmissão U, coeficientes de ganhos solares, fator de sombreamento). Fornece um método de análise de transferência de calor de acordo com o procedimento desenvolvido pelo *National Fenestration Rating Council* (NFRC), segundo a norma ISO 15099.

As características dos vidros podem ser visualizadas na tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Características dos vidros da casa protótipo

| Fatores luminosos | |
|----------------------------------|------|
| Transmissão | 51% |
| Reflexão exterior | 21% |
| Absorção (A1) | 24% |
| Absorção (A2) | 4% |
| Fator solar (g) | 0,56 |
| Coeficiente de sombreamento (SC) | 0,64 |
| Transmissão térmica | |
| Ug (W/(m ² .K)) | 1,2 |

Após a definição das propriedades das janelas no *software Window 6.0* exportou-se a informação para o *Trnsys* e foi possível completar a introdução das características da envolvente da casa protótipo.

Tendo em consideração a qualidade da simulação, é importante considerar a ocupação, assim como os sistemas que lhe estão associados, como é o caso da iluminação e equipamentos elétricos.

Começou por se definir quantos ocupantes e qual o padrão de ocupação da casa-protótipo e colocar essa informação no *software*. Foi considerada uma ocupação de 4 pessoas e um padrão de utilização realista.

Com vista a avaliação do conforto térmico considerou-se para a variável “Vestuário” o valor 0,5 *clo* para o período do verão e 1 *clo* para o período do inverno. Para a introdução da “Taxa Metabólica” criou-se um *schedule* no *Trnsys* para 2 adultos e para 2 crianças tendo em conta possíveis rotinas durante a semana e fins de semana e com variações na taxa metabólica.

Tabela 5.8 – Taxa metabólica – adulto 1 (exemplo)

| Semana: | Fim de semana |
|----------------|----------------------|
| 0h-7h: 0 | 0-8.30h: 0 |
| 7h-8.30h: 1.3 | 8.30h -13.30h: 2 |
| 8.30h-18h: 0 | 13.30h – 0h: 1.2 |
| 18h-21h: 1.2 | |
| 21h-0h: 1 | |

O Trabalho Externo é outra das variáveis que temos de introduzir no TRNBUILD e considerou-se o valor “zero” de acordo com a ISO 7730. Finalmente para a velocidade do ar junto aos ocupantes introduziu-se o valor 0,3 m.s⁻¹.

Relativamente aos equipamentos elétricos considerou-se apenas o ventilador e um frigorífico, como se pode observar na tabela 5.9 e a iluminação encontra-se distribuída pela casa de acordo com a tabela 5.10.

Tabela 5.9 – Equipamentos elétricos

| Equipamentos elétricos | Potência (W) | Utilização (horas/dia) |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Ventilador | 60 | 5 |

| Equipamentos elétricos | Potência (W) | Utilização (horas/dia) |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Frigorífico | 32 | 24 |
| TOTAL | 92 | - |

Tabela 5.10 – Iluminação

| Iluminação | Potência (W) |
|-------------------|---------------------|
| Sala | 50 |
| WC | 30 |
| Cozinha | 40 |
| TOTAL | 120 |

5.4.1.2.2. Sistema de Ventilação

Decidiu-se colocar um sistema de ventilação na casa, uma vez que as soluções construtivas a tornariam demasiado “estanque”, comprometendo a Qualidade do Ar Interior (QAI). O sistema de ventilação apresenta-se esquematicamente na figura 5.7.

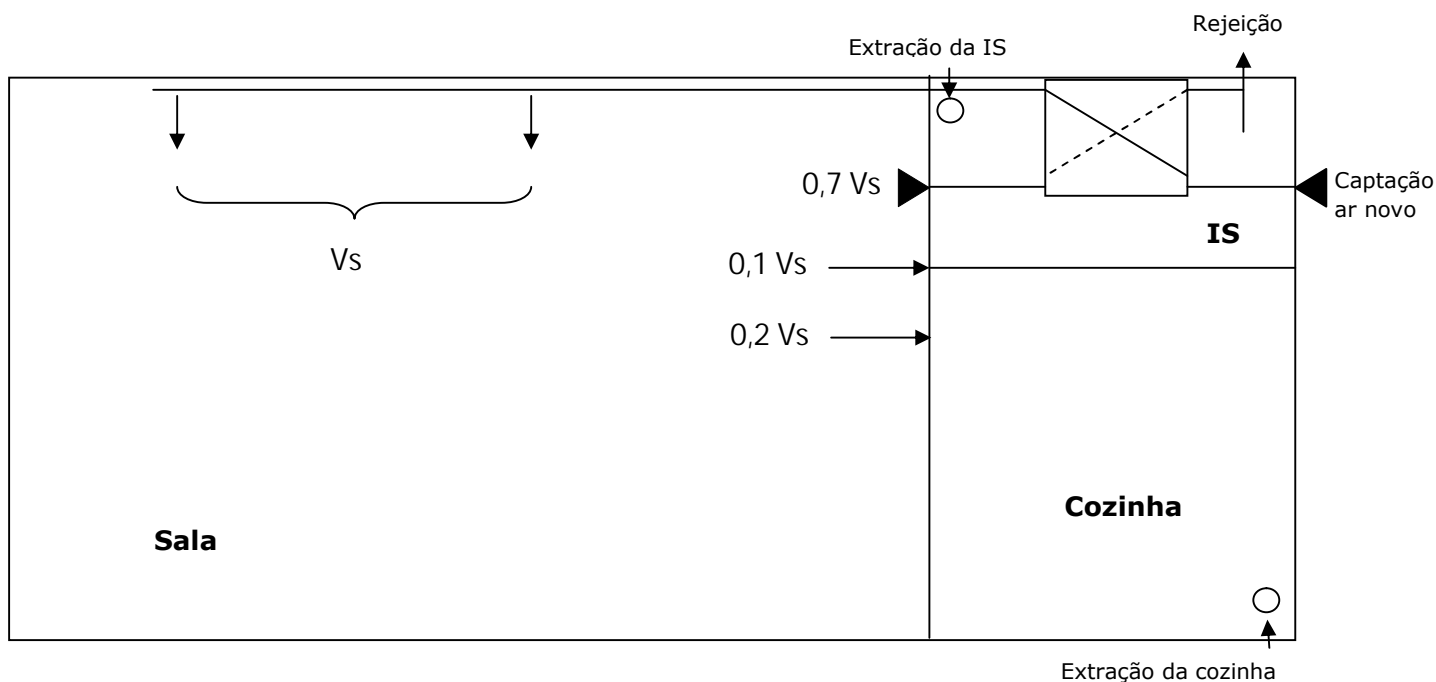


Figura 5.7 – Esquema do sistema de ventilação do protótipo

É um sistema de ventilação com recuperação de calor (HRV- *Heat Recovery Ventilaton*), o qual permite manter uma elevada qualidade do ar interior sem custos excessivos de energia. Na figura 5.8 é possível observar o esquema de um HRV semelhante ao utilizado no caso de estudo. Para além do recuperador de calor, consiste em dois ventiladores, um que permite a captação do ar poluído do interior e a sua rejeição e o outro que aspira o ar do exterior e distribui pela casa, depois de o filtrar, sem que haja qualquer mistura entre os dois fluxos de ar.

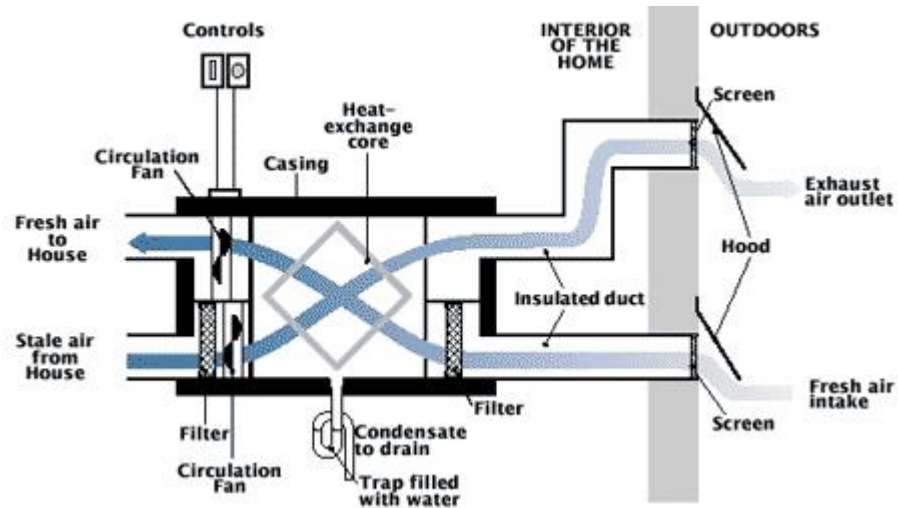


Figura 5.8 – HRV

(FONTE: <http://oee.nrcan.gc.ca/residential/personal/new-homes/r-2000/standard/how-hrv-works.cfm>)

No núcleo de um HRV existe o módulo de transferência de calor ou permutador de calor. Ambos os fluxos de ar (vindo do interior e do exterior) passam pelo módulo e o calor do ar de exaustão é utilizado para pré-aquecer a corrente de ar exterior que é injetada no interior do edifício. Apenas o calor é transferido, uma vez que as duas correntes permanecem fisicamente separadas. Tipicamente, um HRV é capaz de recuperar 70 a 80% do calor do ar de exaustão e transferi-lo para o ar de entrada. Isto reduz drasticamente a energia necessária para aquecer o ar de modo a atingir uma temperatura confortável.

No caso do sistema Soliterm+ os seus construtores optaram pela utilização de um modelo comercial da marca LG cujas características são apresentadas a seguir, sob a forma gráfica, as quais foram introduzidas no software Trnsys 16.0 para a simulação térmica do edifício.



Figura 5.9 – Modelo de HRV - LZ-H05GBA2 (Modo eco V), adequado para a casa protótipo

(FONTE: LG, 2011)

Na tabela 5.11 apresentam-se as características do HRV adequado para a casa protótipo e que foram utilizadas na modelação.

Tabela 5.11 – Características do HRV utilizado no sistema Soliterm+

| Características | Unidades | LZ-H05GBA2 |
|---------------------------------|-----------|-------------------------|
| Capacidade Nominal | M3/h(LIS) | 150 (81) |
| Alimentação Elétrica | ø,V,Hz | 1, 220-240, 50-60 |
| Intensidade Corrente | - | Super Alto/ Alto/ Baixo |
| Corrente | A | 0,84/0,76/0,45 |
| Potência de Entrada | W | 100/90/55 |
| Fluxo de Ar | m3/h | 130/100/50 |
| Pressão Estática Disponível | Pa | 150/150/100 |
| Eficiência de Permuta Entálpica | % | 75/75/79 |
| Nível de Ruído | dBA | 32/31/22 |
| Massa | Kg | 20 |
| Dimensões | mm | 600x185x570 |

FONTE: LG, 2011

Foi implementado um sistema de controlo do seu funcionamento que, em geral, cumpra as seguintes condições:

- 1) A recuperação de calor far-se-á sempre que a temperatura do ar interior for superior à do exterior, em situação de aquecimento, o que acontece tipicamente no inverno e sempre que aquela diferença de temperaturas se inverta e se esteja em situação de arrefecimento, o que acontece tipicamente no verão

- 2) Em situação de arrefecimento se o diferencial de temperaturas acima referido, como sendo o típico desta situação, for o inverso, então, o ar proveniente do interior do edifício deverá fazer um *bypass* ao recuperador assim evitando trocas de calor. Esta situação é designada por *free-cooling*, ou arrefecimento gratuito.

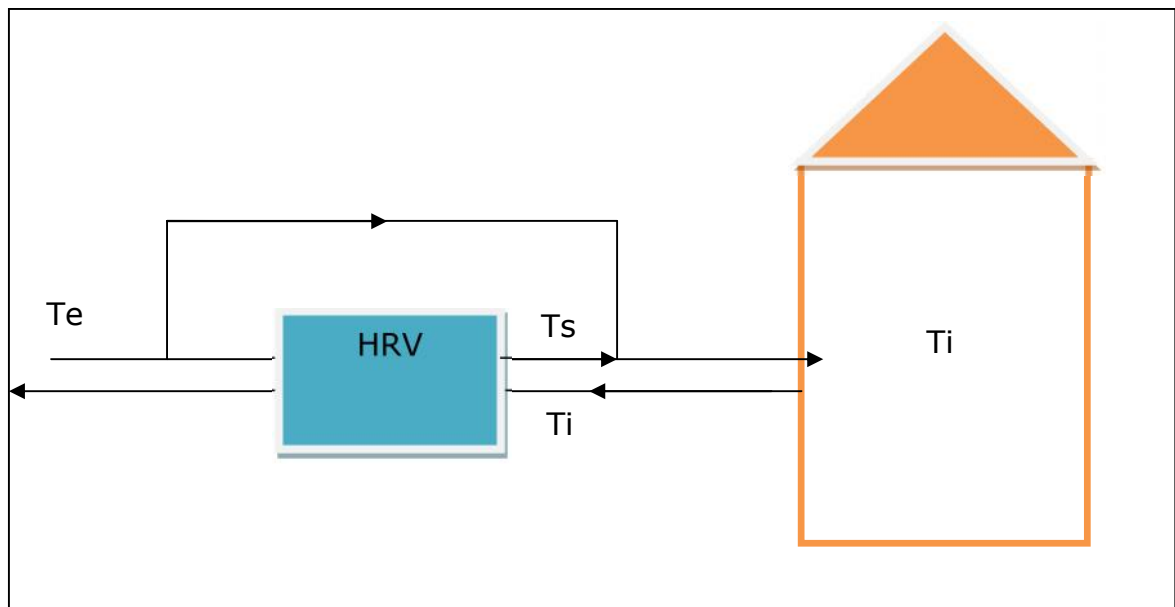


Figura 5.10 – Esquema do recuperador de calor conforme a sua integração no modelo

Essas condições são expressas no programa, de forma mais genérica através, das seguintes condições:

- Haverá arrefecimento gratuito (vulgarmente designado por "free-cooling") sempre que a temperatura do ar interior, T_i , for superior a 25°C , e simultaneamente o seu valor for superior à do ar exterior;
- Haverá recuperação de calor nas restantes condições, ou seja sempre a temperatura do ar exterior for inferior à do interior e esta menor do que 20°C , ou quando for superior a 26°C e a do ar exterior for mais elevada do que ela.

A equação para o cálculo da temperatura, T_s , e da entalpia, h_s , de insuflação do ar são a seguir apresentadas:

$$T_s = T_e + T(T_i - T_e) \cdot F \quad (5.15)$$

$$h_s = h_e + \eta_h(h_i - h_e) \cdot F \quad (5.16)$$

em que F representa um parâmetro que toma os valores de 1, ou 0, respetivamente quando há condições para a realização de recuperação de calor, ou de *free-cooling*.

As equações para o cálculo, quer da eficiência em termos de calor sensível, vulgarmente também dita de temperatura, η_T , quer em termos de calor total, vulgarmente também dita de entalpia, η_H , foram obtidas a partir dos dados do fabricante. Ambas as eficiências são função do caudal de ar e isso foi considerado na implementação do modelo de cálculo através de polinómios que representam essa dependência.

Em que:

T_s = Temperatura à saída do HRV

T_e = Temperatura exterior

T_i = Temperatura no interior do edifício

h_s - Entalpia à saída do HRV

h_e = Entalpia no exterior

h_i = Entalpia no interior do edifício

$\eta_T = E_t$ e $\eta_h = E_h$, sendo η_T e η_h as eficiências do recuperador, a primeira em termos de calor sensível e a segunda em termos de calor total.

5.5. Apresentação/ Discussão de Resultados

Modelo de desempenho energético – Sistema construtivo Soliterm+

O aspeto do modelo da casa protótipo obtido no ambiente do *Trnsys studio*, apresenta-se na figura 5.11.

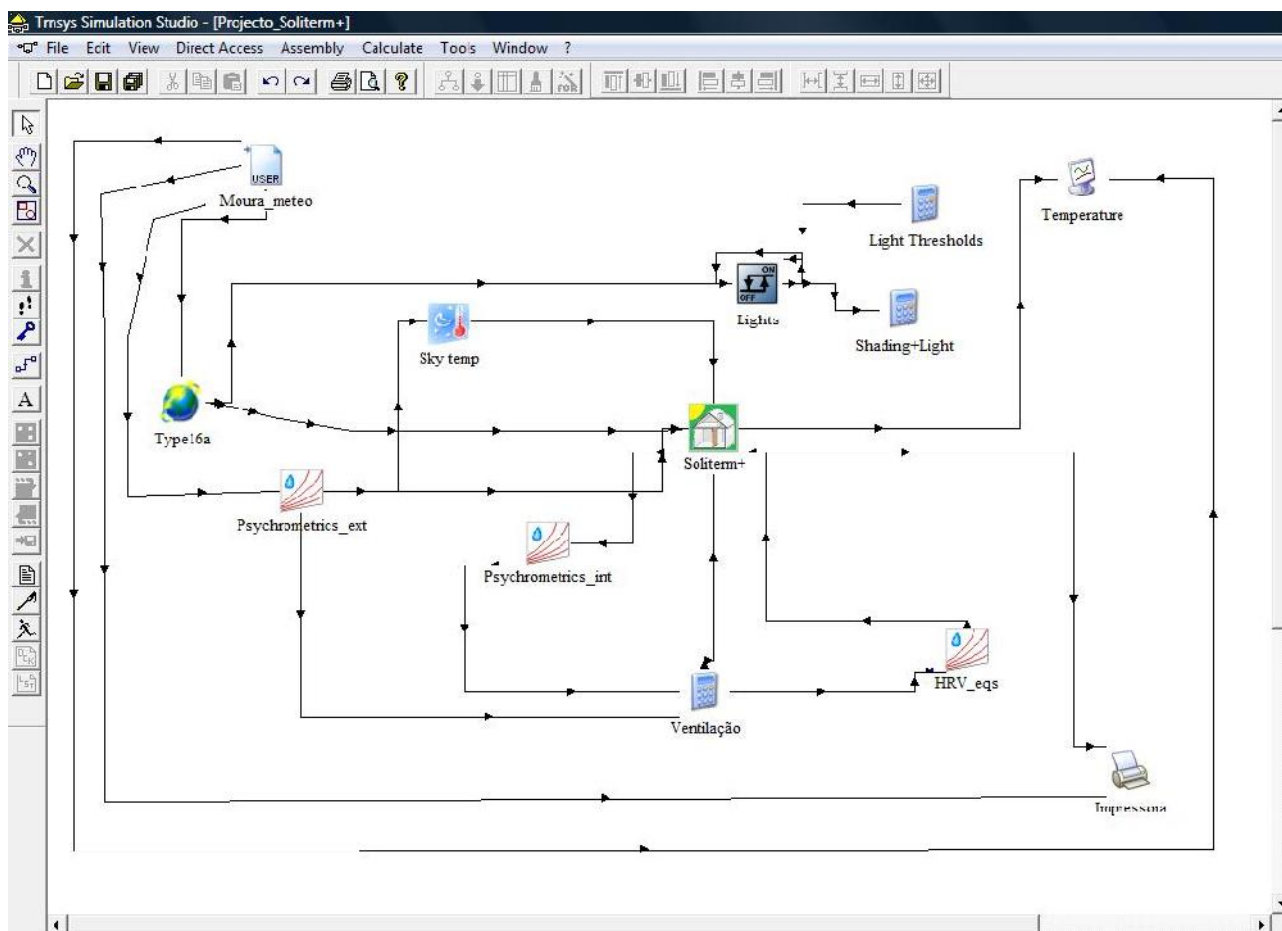


Figura 5.11 – Modelo do sistema Soliterm+ em ambiente *Trnsys*

O modelo apresentado contém toda a informação sobre a estrutura do edifício, transportada através do *type 56*, bem como do sistema de ventilação. A climatização é automaticamente integrada no modelo de simulação do edifício, ativando os respetivos termostatos, tanto no modo de aquecimento, como de arrefecimento. Os dados meteorológicos de Moura foram obtidos através do *software Solterm* desenvolvido pelo LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.. Este programa analisa o

desempenho de sistemas solares e fornece cálculos de referência para vários mecanismos oficiais, com destaque para a contribuição da energia solar no âmbito do Sistema de Certificação de Edifícios.

Após o desenvolvimento do modelo, tiveram início as simulações que permitem fornecer as respostas relativamente à viabilidade do sistema ao nível energético.

Utilizaram-se os dados de um ano meteorológico típico e a análise foi realizada mensalmente para assim se poder avaliar o comportamento do edifício-protótipo, considerando vários cenários possíveis.

Para os fins da análise que se pretendia, decidiu-se considerar o edifício dividido em três zonas térmicas: a sala, a cozinha e a instalação sanitária. Assim será possível saber como variam ao longo do tempo as respetivas temperaturas, ou as cargas térmicas, conforme se considere o regime livre de funcionamento ou a ativação da climatização. Tanto num caso, como no outro, foi sempre permitido o funcionamento do recuperador de calor.

O ar para a ventilação é proveniente do recuperador de calor, sendo insuflado na sala e extraído parcialmente através da cozinha e da instalação sanitária e o restante da própria sala.

Apenas a sala será objeto de climatização, enquanto os outros dois espaços não terão controlo individual da temperatura.

Simulações

Em primeiro lugar simulou-se o comportamento da construção com o sistema de ventilação ativado, sem climatização, para analisar a forma como a casa protótipo se comporta face ao clima de Moura, apenas dispondo do recuperador de calor tal como se verifica no caso de estudo. Foi feita a simulação e analisou-se o comportamento térmico da casa, com uma incidência particular em cada um dos meses do ano.

Posteriormente, antecipando um comportamento térmico insatisfatório, pelo menos durante alguns períodos do ano, previu-se a existência de um sistema de climatização tendo em vista o conforto dos seus ocupantes, mas apenas para efeitos de estudo.

Finalmente, fizeram-se algumas simulações para testar o sistema de ventilação com dois caudais diferentes (100 m³/h e 250 m³/h). Estas permitem também verificar se o comportamento térmico se altera consideravelmente com a taxa de renovação de ar. Isto é importante, uma vez que se dispõe apenas de sistema de ventilação na casa e, por outro lado, permite analisar se este é suficiente para garantir condições de conforto térmico aos ocupantes da casa protótipo, sem o sistema de climatização.

A. Sistema Soliterm+ com ventilação e sem climatização vs. sistema soliterm+ com ventilação e climatização

▪ Janeiro

O mês de janeiro é um dos que apresenta as temperaturas mais reduzidas do ano. A partir do gráfico da fig. 5.12 constata-se que se registam as temperaturas médias mais baixas do ano nos dias 11 e 12 de janeiro, com 6,9°C e 6,5°C respetivamente. Os Invernos na região de Moura são rigorosos e, como tal, é prioritário analisar o comportamento da casa nesta situação.

Estes valores são referentes à simulação com o sistema de ventilação desligado para que a temperatura no interior do edifício apresente valores mais confortáveis para os seus ocupantes.

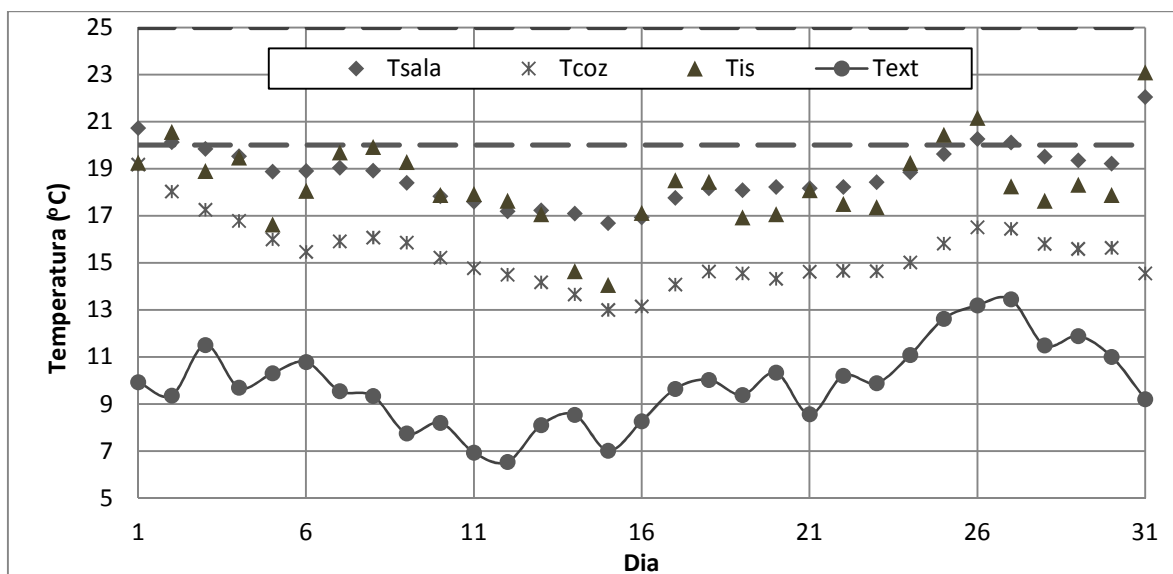


Figura 5.12 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de janeiro.

Apesar da casa protótipo não apresentar valores de temperatura no seu interior superiores a 20°C, a temperatura no espaço polivalente (Tsala) apresenta o valor mínimo de 16,7°C para a temperatura média diária e o valor máximo de 22°C. Este último insere-se no intervalo de conforto considerado (20°C-25°C). Das três divisões é a cozinha que apresenta os valores mais baixos, no entanto é também aqui que temos fontes de calor ocasionalmente (por exemplo, o fogão).

Para os dias em que a temperatura atinge valores mais baixos, pode-se recorrer a um sistema de climatização.

A diferença verificada entre a temperatura do interior da casa (espaço polivalente) e a temperatura exterior é em média de 9°C para o mês de janeiro.

▪ **Fevereiro**

Na figura 5.13 apresentam-se os resultados obtidos para o mês de fevereiro.

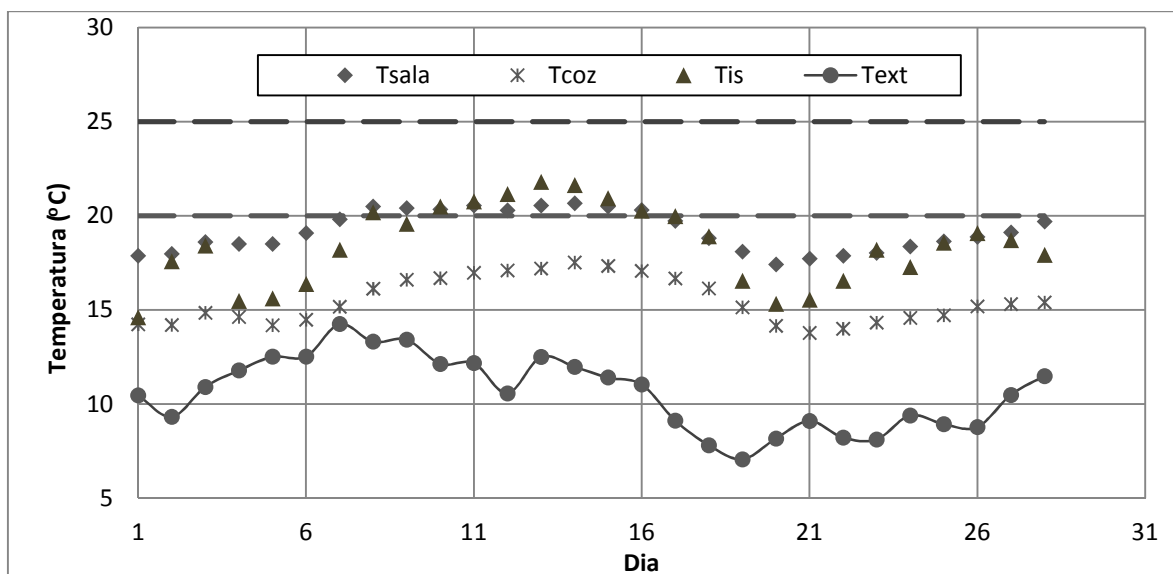


Figura 5.13 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de fevereiro.

Ainda se registam valores muito baixos para as temperaturas exteriores no mês de fevereiro ($T_{\text{mín}}=7\text{ °C}$ e $T_{\text{máx}}=14,3\text{ °C}$) mas os valores das temperaturas médias no interior não desceram abaixo de 17 °C , atingindo mesmo o máximo de 21 °C . Considerando que os valores no espaço polivalente se situaram no intervalo 17 °C - 21 °C , pode considerar-se que apenas a estrutura da casa permite atingir valores de temperatura relativamente elevados quando comparados com os valores no exterior.

Em média, a diferença nos valores de temperatura do interior e do exterior da casa foi de aproximadamente 9 °C . É importante referir que a temperatura no interior do espaço polivalente apresentou valores médios situados no intervalo de conforto durante nove dias.

▪ Março

Na figura 5.14 é possível visualizar os resultados das temperaturas, tanto no interior como no exterior da casa protótipo para o mês de março.

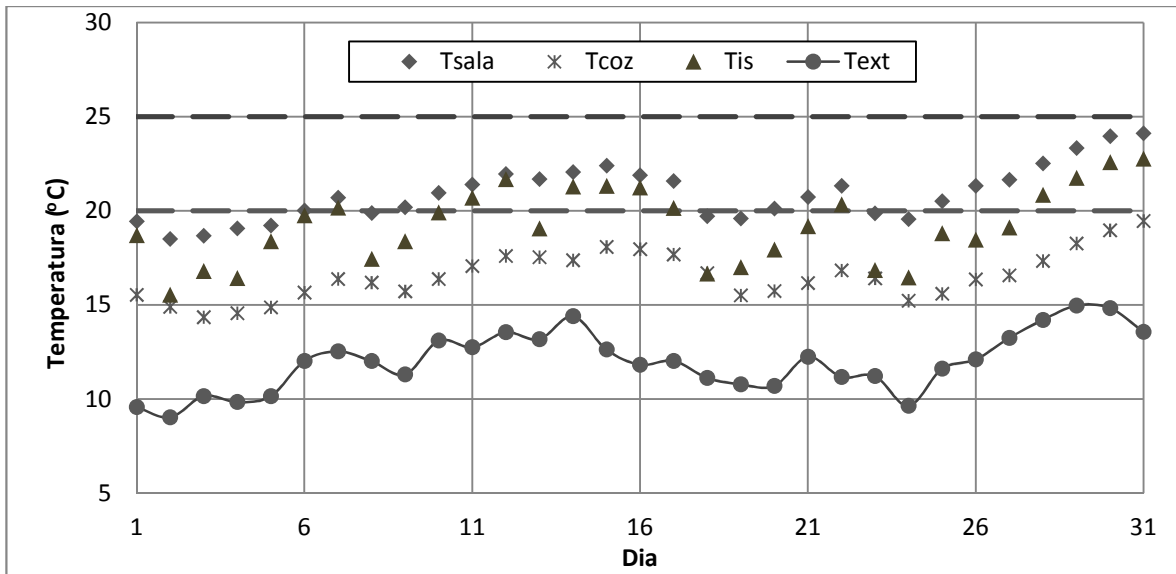


Figura 5.14 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de março.

Em março assiste-se já a uma ligeira subida da temperatura ambiente, apresentando valores médios diários, com o mínimo de 9°C e o máximo de 15°C. No interior da casa protótipo as temperaturas permitem permanecer com conforto sem o sistema de climatização, apresentando o valor mínimo de 19°C e o valor máximo de 24°C. Estes valores foram obtidos sem o sistema de ventilação. Só a cozinha continua a apresentar temperaturas mais baixas.

Durante 21 dias, as temperaturas médias situam-se dentro do intervalo de conforto térmico.

- **Abril**

A figura 5.15 apresenta os valores das temperaturas para o mês de abril sem o sistema de ventilação e sem o sistema de climatização.

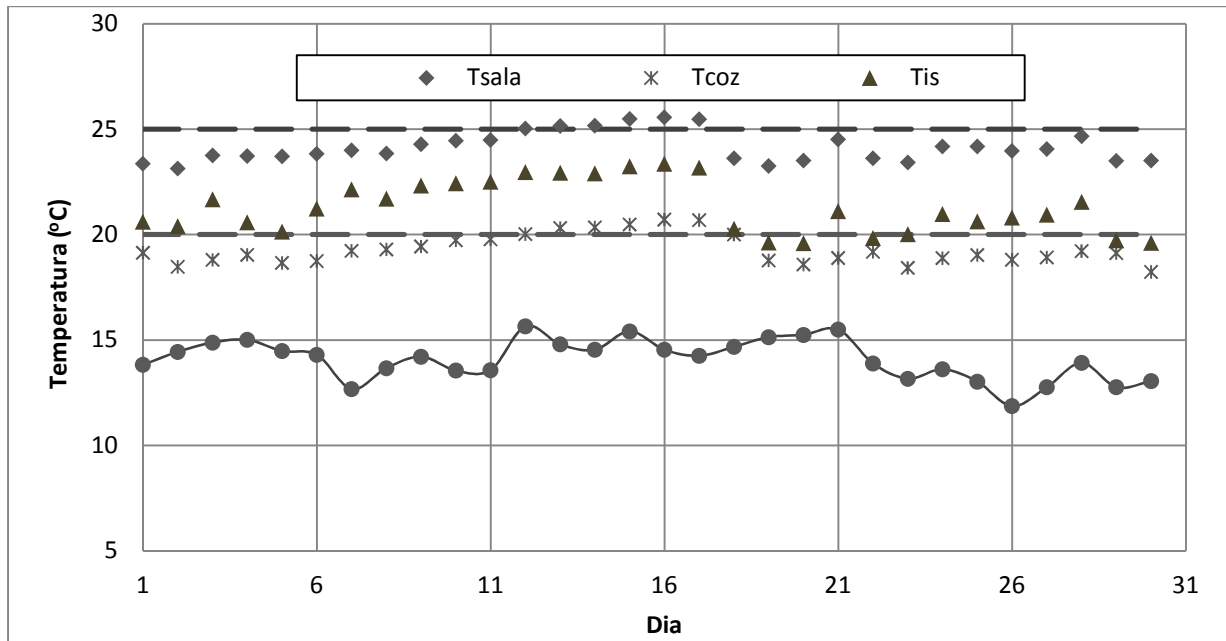


Figura 5.15 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de abril.

Em abril, a temperatura ambiente aumenta, apresentando um mínimo de média diária de 11,9°C e um máximo de 15,7°C. No interior da casa protótipo, mais especificamente no espaço polivalente existem condições de conforto durante todo o mês, oscilando a sua temperatura entre 23,1°C e 25,6°C. A diferença entre a temperatura no interior do protótipo e a do exterior apresenta o valor médio de 10°C para o mês de abril.

- **Maio**

Na figura 5.16 apresentam-se os resultados obtidos para o mês de maio com uma ventilação de 250 m³/h e sem climatização.

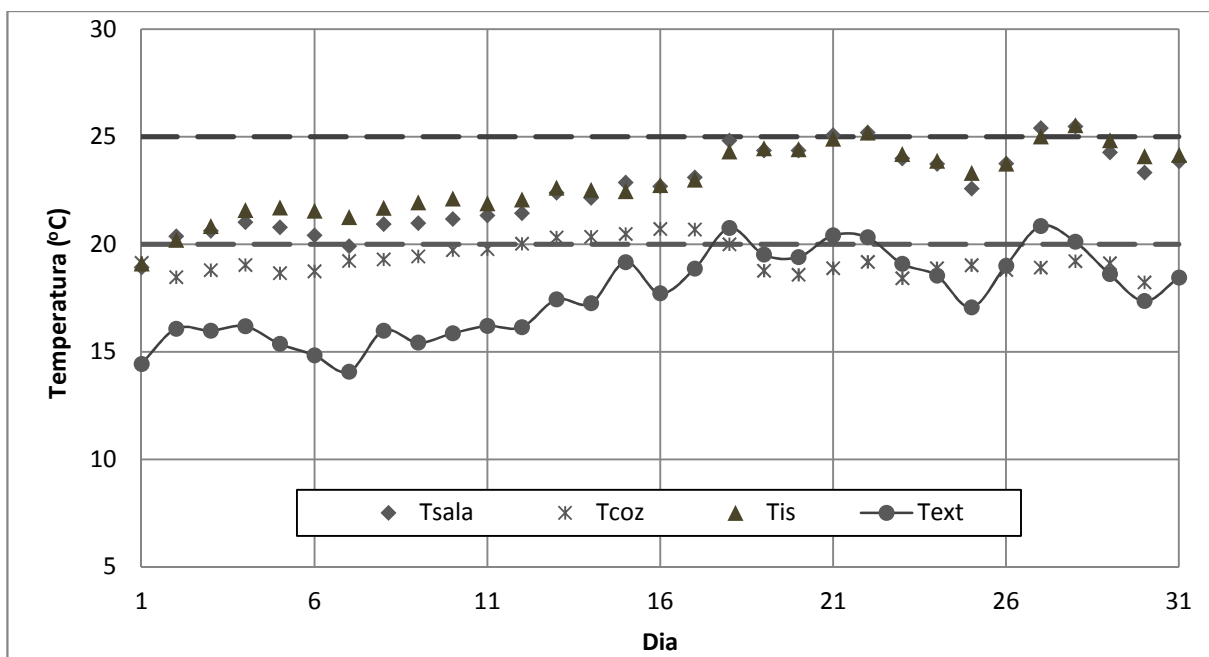


Figura 5.16 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de maio.

Em maio, as temperaturas médias exteriores variaram entre 19°C e 26°C. Como tal, se não se utilizar nem sistema de ventilação, nem de climatização, as temperaturas no interior da casa atingem valores bastante elevados relativamente ao desejado ($T_{mín}=24^{\circ}\text{C}$ e $T_{máx}=31,5^{\circ}\text{C}$) pois, para além do aumento nas temperaturas exteriores também há um aumento da radiação solar. Tendo estes resultados em consideração, fez-se uma simulação considerando um caudal de 100 m³/h mas durante 15 dias do mês a temperatura é superior a 25°C, ficando fora do intervalo de conforto. No entanto, com um caudal de 250 m³/h de ventilação já se consegue assegurar o conforto térmico na casa protótipo durante todo o mês. É de salientar que foi o primeiro mês do ano em que houve necessidade de ativar o sistema de ventilação, o que é fundamental desde que haja ocupantes na sala.

A diferença média entre a temperatura no interior (sala) e no exterior é de 5°C.

▪ Junho

Na figura 5.17 podem observar-se os valores para as temperaturas no interior e exterior da casa protótipo para o mês de junho com um caudal de ventilação de 250 m³/h.

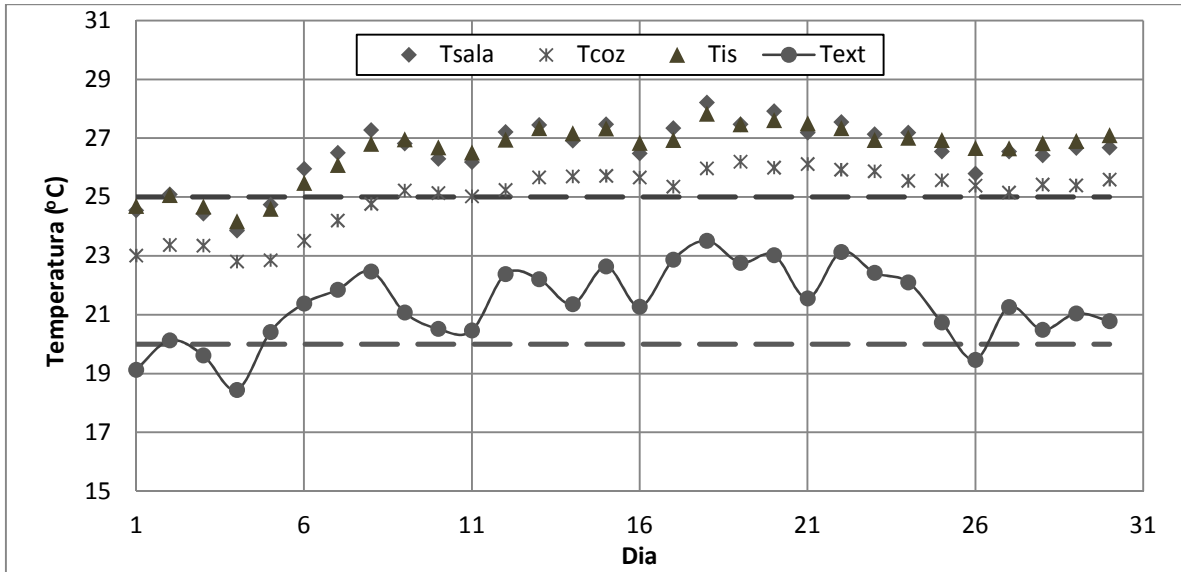


Figura 5.17 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de junho.

Em junho, as médias da temperatura no exterior variam entre os 18°C e os 24°C, aproximadamente. À semelhança do mês de maio, fizeram-se as simulações sem ventilação e com ventilação ($Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$ e $Q=250 \text{ m}^3/\text{h}$). O mais adequado foi também a ventilação com o caudal de $250 \text{ m}^3/\text{h}$. A temperatura no interior da casa protótipo (sala) variou entre 23,9°C e 28,2°C e a temperatura média foi de 26,5°C. Apesar de registar valores superiores aos 25°C, a diferença não é muito significativa e reduzindo o fator *clo*, os ocupantes poderão permanecer com um maior conforto. É interessante notar que no mês em que começa o verão não é necessário sistema de climatização adicional durante a maior parte do tempo. Apesar de não ser o mês que regista os valores mais elevados de temperatura, é um dos meses mais quentes do ano numa região onde os verões atingem temperaturas muito elevadas.

▪ **Julho**

A figura 5.18 apresenta os valores das temperaturas médias diárias para o mês de julho com um caudal de ventilação de $250 \text{ m}^3/\text{h}$.

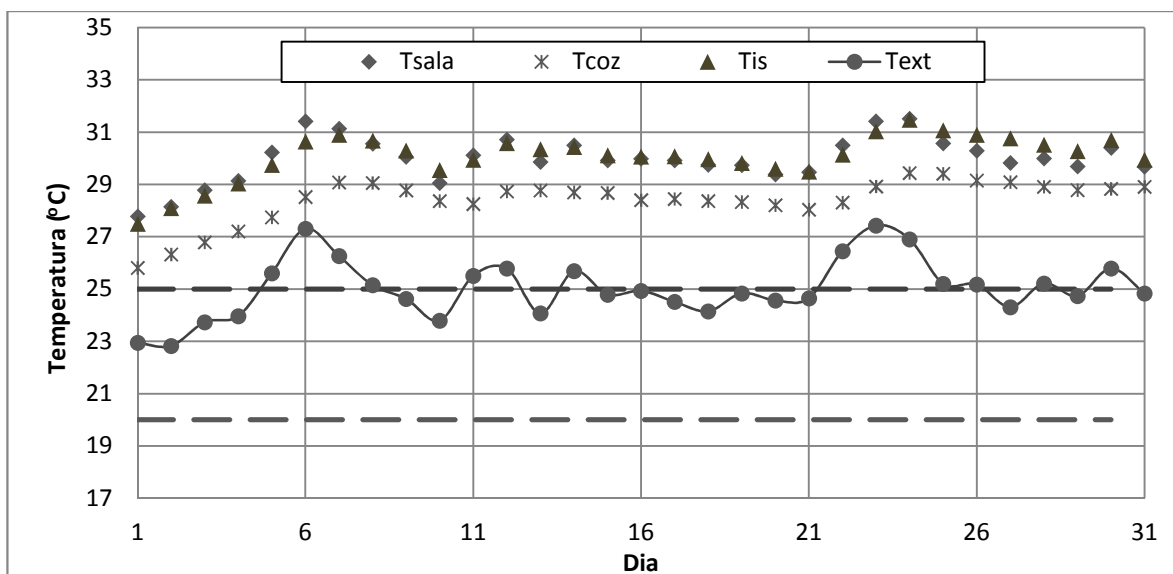


Figura 5.18 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de julho.

Julho é o mês que apresenta as temperaturas mais elevadas, contrastando com o mês de janeiro que é o que apresenta as temperaturas mais reduzidas, variando entre 23 e 27°C de temperatura média ambiente. Quando não se utiliza o sistema de climatização verifica-se que as temperaturas médias diárias no interior da casa atingem valores máximos de 31°C. Valores entre os 30°C-35°C no interior da casa constituem um problema para o conforto térmico e que era esperado para o período do verão devido à reduzida inércia térmica da casa. Como tal, para o período de verão eram esperados ganhos solares exagerados e é neste período que o Sistema Soliterm+ apresenta uma maior fraqueza. Desta forma, torna-se muito importante a seleção da caixilharia e vidros, assim como, dos dispositivos de proteção solar (exemplos: portadas ou estores). Assim, os ocupantes devem utilizar os dispositivos de proteção solar e assegurar uma ventilação noturna da casa para evitar o uso da climatização ou limitá-la o mais possível.

A casa protótipo sem sistema de climatização, nos dias em que se registam as temperaturas mais elevadas no mês de julho não proporciona condições de conforto aos seus ocupantes, registando-se temperaturas entre os 27,8°C e os 31,5°C (no espaço polivalente). Se considerarmos que nas horas de "maior calor", os seus habitantes se encontram fora de casa, só regressando mais tarde e permanecendo no período noturno,

este problema torna-se menor. No entanto, só com o recurso ao sistema de climatização permite estar-se com conforto no interior da casa.

A casa protótipo apresenta, em média, mais 5°C no seu interior relativamente ao valor da temperatura do ar exterior.

- **Agosto**

Na figura 5.19 podem observar-se os valores para as temperaturas no interior e exterior da casa protótipo para o mês de agosto com um caudal de 250m³/h.

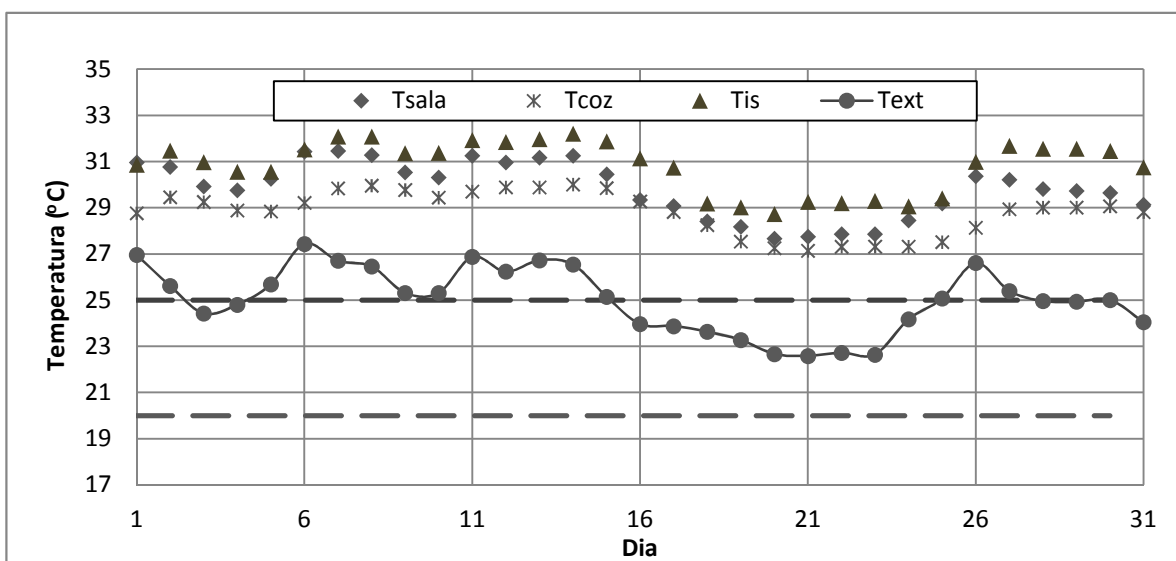


Figura 5.19 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de agosto.

Em agosto, as temperaturas permanecem bastante elevadas como é típico nesta altura do ano em Moura e terá de se recorrer ao sistema de climatização para assegurar as condições de conforto aos ocupantes, tal como no mês de julho. Na primeira quinzena, as temperaturas médias diárias no interior da casa atingem valores que rondam os 30°C e durante todo o mês essas temperaturas encontram-se acima do limite superior do intervalo de conforto, 25°C. A sala/quarto e a instalação sanitária apresentam valores de temperatura média muito próximos e consideravelmente superiores aos valores registados para o ar exterior, cerca de 4,8°C.

É possível minimizar esta diferença atuando de forma semelhante ao mês e julho e aumentando o caudal de ventilação, por exemplo. Mas é possível concluir que é no verão que a casa tem maior necessidade de um sistema de climatização, tendo em conta o clima da região em análise.

▪ Setembro

A figura 5.20 apresenta os valores das temperaturas para o mês de setembro com um caudal de ventilação de 250 m³/h.

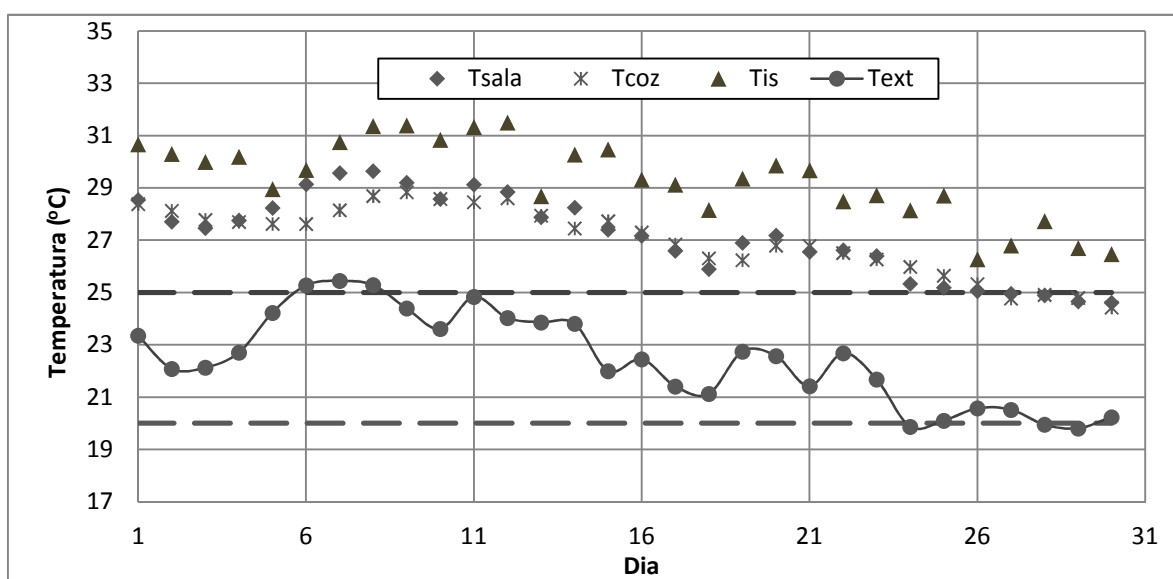


Figura 5.20 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de setembro.

Em setembro, as temperaturas médias do exterior variam entre 19,8°C e 25,4°C. Seria desejável aproximar os valores de temperatura no interior destes verificados no exterior. O que se verifica com o caudal de ventilação mais elevado utilizado nas simulações (250 m³/h) é que a temperatura média no espaço polivalente varia entre 24,6°C e 29,6°C. Só quatro dias no final do mês se situam no interior do intervalo de conforto.

▪ Outubro

A figura 5.21 apresenta os valores das temperaturas médias diárias para o mês de outubro com uma ventilação de 250 m³/h.

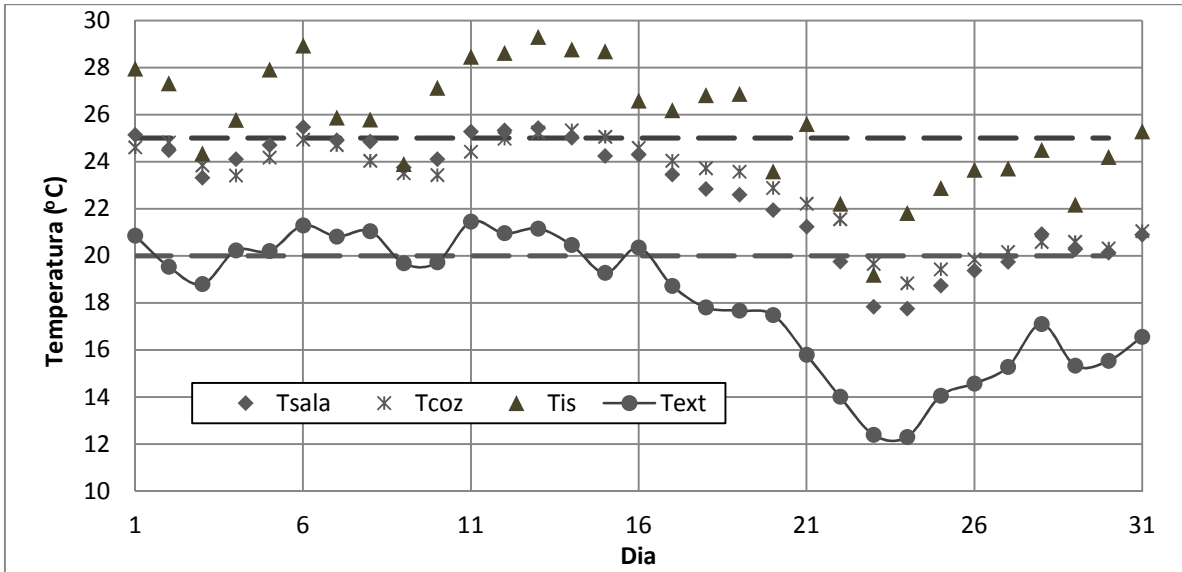


Figura 5.21 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de outubro.

No final de outubro, as temperaturas médias sofrem um decréscimo acentuado, atingindo mínimos de 12°C. No interior da casa, mais especificamente no espaço polivalente os valores de temperatura situam-se quase todos no intervalo de conforto, variando entre 17,8°C e 25,5°C. Só as instalações sanitárias apresentam um valor mais elevado.

▪ **Novembro**

A figura 5.22 apresenta os valores das temperaturas médias diárias para o mês de novembro sem ventilação.

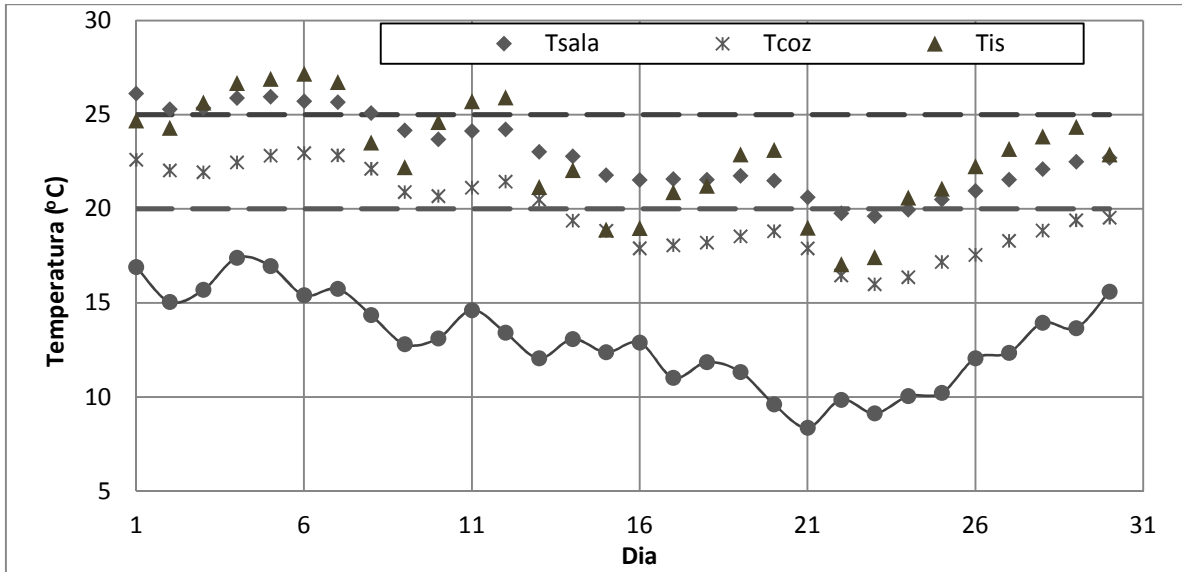


Figura 5.22 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de novembro.

Em novembro, as temperaturas médias no exterior oscilam entre 8°C e 17°C e no interior da casa variam entre 19,6°C e 26,1°C para a sala. Observa-se através do gráfico que a maior parte dos valores médios diários de temperatura se situam dentro do intervalo de conforto térmico.

- **Dezembro**

Na figura 5.23 podem observar-se os valores para as temperaturas no interior e exterior da casa protótipo para o mês de dezembro sem o sistema de ventilação ligado.

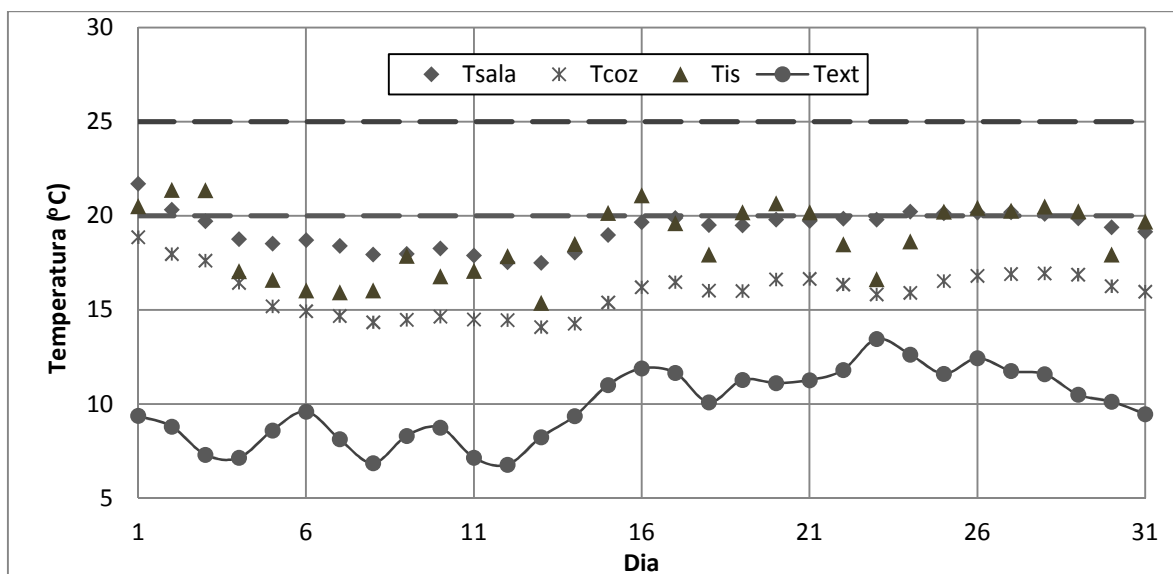


Figura 5.23 – Valores das temperaturas médias diárias no interior da casa-protótipo sem climatização e no exterior durante o mês de dezembro.

Em dezembro registam-se temperaturas muito baixas, sendo as médias no exterior do edifício variáveis entre 7°C e 13°C. No interior do edifício registam-se temperaturas que rondam os 17,5°C e que vão até aos 21,7°C (na sala). Durante 23 dias, as temperaturas no interior estão abaixo do intervalo de conforto mas é uma diferença pouco significativa. Com o fator *c/o* e com um sistema de climatização adicional facilmente são atingidas as condições de conforto térmico. A diferença média registada entre as temperaturas no exterior e as temperaturas no interior é de 8,8°C.

De acordo com a metodologia proposta no RCCTE, 2006 a casa-protótipo é um edifício com uma inércia térmica de 102 Kg/m² e segundo o mesmo regulamento, quando a inércia térmica de um edifício é inferior a 150 Kg/m² considera-se que este tem uma inércia térmica fraca, o que se traduz nos ganhos de calor a transformarem-se rapidamente em aumentos de temperatura, acrescidos ainda, neste caso, pela elevada resistência térmica da envolvente. No entanto esta última característica é benéfica para a situação de inverno, já que evita perdas do calor gerado no interior.

B. Sistema Soliterm+ com diferentes caudais de ventilação ($Q=0 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$ e $Q=250 \text{ m}^3/\text{h}$)

Foram realizadas simulações, em regime livre, com dois caudais distintos de ventilação, $100 \text{ m}^3/\text{h}$ e $250 \text{ m}^3/\text{h}$ e ainda sem nenhuma climatização, para que se possa verificar o desempenho térmico da construção e, ao mesmo tempo avaliá-lo na ausência de climatização, nos períodos do ano em que as temperaturas registadas são mais extremas.

O recurso ao recuperador de calor existente no equipamento responsável pela ventilação da casa-protótipo é determinante no desempenho térmico do "sistema-casa". No entanto, e como já foi referido, há interesse em recuperar o calor quando o ar interior se encontra a temperaturas suficientemente superiores às do ar exterior, o que acontece no inverno. No verão, pelo contrário, a utilização do ar exterior para promover algum efeito de arrefecimento apresenta-se mais interessante do que a recuperação de calor, a qual acontecerá para diferenças de temperatura simétricas das que se descreveram para o inverno, mas cuja grandeza é mais reduzida .

i. Sem ventilação (caudal= $0 \text{ m}^3/\text{h}$)

A primeira simulação realizada compreendeu alguns dias do mês de agosto, um dos períodos mais quentes do ano, sem sistema de climatização e sem ventilação.

Os resultados podem ser observados na figura 5.24.

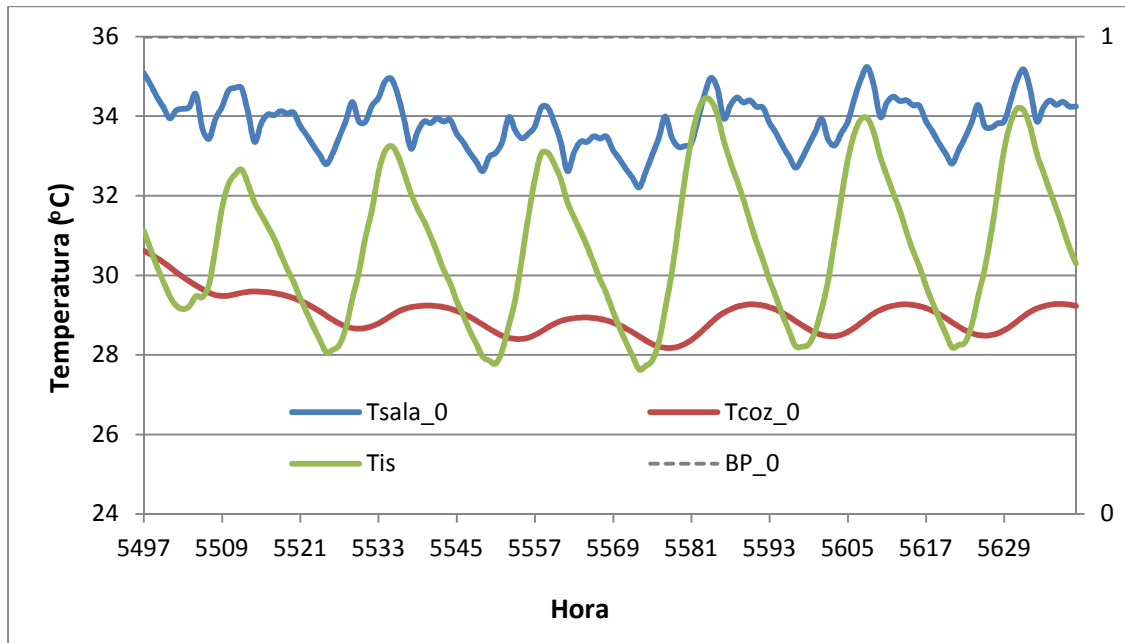


Figura 5.24 – Valores das temperaturas horárias em cada uma das divisões da casa protótipo (sala, cozinha e instalação sanitária) e da ativação do “bypass” ao recuperador de calor, durante um período do mês de agosto

Selecionou-se um período deste mês para uma análise mais pormenorizada (o que se situa no intervalo entre as horas 5497 e 5640). Durante o período considerado, as temperaturas horárias no exterior variaram entre 15,2°C e 32,5°C. No interior, todas as divisões apresentam valores de temperatura superiores ao intervalo de conforto e das três é na sala que as temperaturas apresentam valores mais elevados. Nesta última, os valores variam entre 32,2°C de valor mínimo e 35,2°C de valor máximo. Mesmo durante o período noturno a casa não apresenta reduções significativas de temperatura mantendo sempre valores bastante elevados.

Quando não se utiliza o sistema de climatização verifica-se que as temperaturas no interior da casa atingem máximos próximos de 35,5°C. Mesmo sem a ventilação ativada estes valores que se atingem no interior, quase em simultâneo com os de temperatura mais elevada do ar exterior, constituem um problema para o conforto térmico. Este comportamento era, de alguma forma, esperado para o período do verão devido à reduzida inércia térmica da casa.

Embora se registre no mesmo gráfico, no eixo das ordenadas da direita, a ativação (1) e a desativação (0) do sistema de “bypass” à recuperação de calor, ela não funciona na realidade uma vez que não há, neste caso, nenhuma ventilação.

Pode afirmar-se que a casa-protótipo, sem sistema de climatização e sem ventilação, nos dias em que se registam as temperaturas mais elevadas, não proporciona condições de conforto aos seus ocupantes, registando-se temperaturas elevadas no interior do edifício, com o máximo a atingir 35,2°C tal como referido. No entanto, se considerarmos que os seus habitantes só regressam mais tarde, então, para eles, o desconforto é menor, sobretudo no período noturno, mas mesmo assim ainda é significativo.

Só a cozinha apresenta temperaturas mais baixas o que poderá dever-se à menor exposição solar. A sala/quarto e a instalação sanitária apresentam valores de temperatura média muito próximos e consideravelmente superiores aos valores registados para o ar exterior.

ii. **Com ventilação (caudal=100m³/h)**

Ainda sem controlo de temperatura mas ativando a ventilação, fizeram-se duas simulações com dois valores de caudal diferentes, 100 m³/h e 250 m³/h e compararam-se as temperaturas obtidas nas três divisões da casa.

Na figura 5.25 apresentam-se os resultados referentes ao caudal de 100 m³/h.

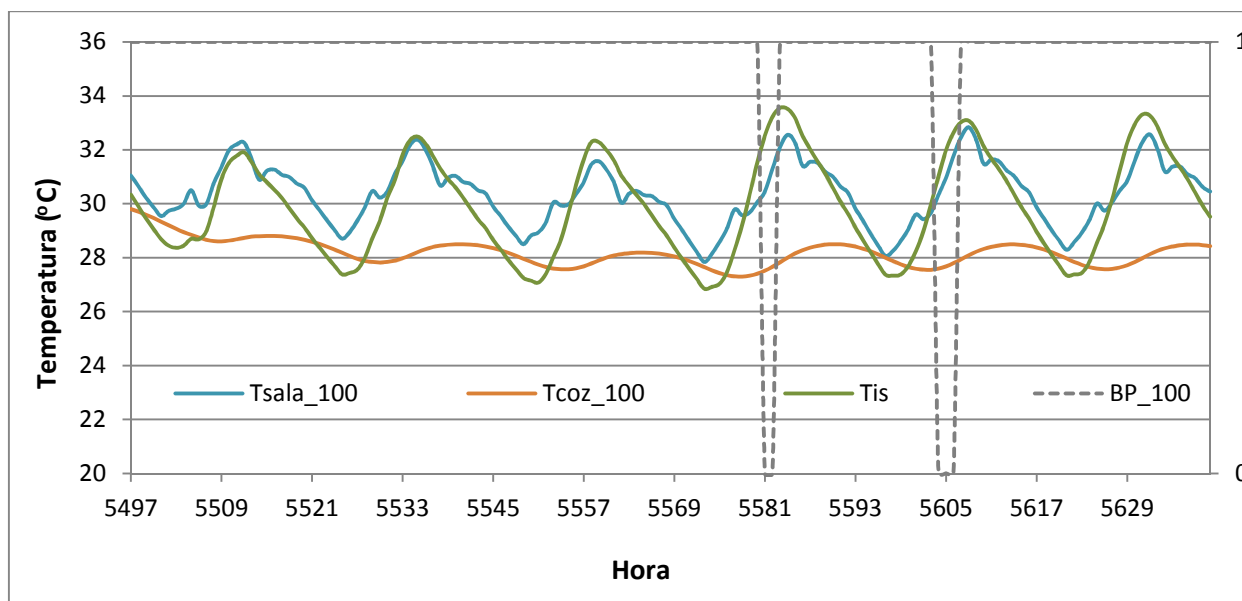


Figura 5.25 – Valores das temperaturas horárias em cada uma das divisões da casa protótipo (sala, cozinha e instalação sanitária) e da ativação do “bypass” ao recuperador de calor, durante um período do mês de agosto com sistema de ventilação ($Q=100\text{m}^3/\text{h}$)

Verifica-se que a temperatura na casa-protótipo desce ligeiramente quando se liga a ventilação, no entanto, as temperaturas máximas registadas no interior, nos seis dias em análise, são superiores a 30°C e as mínimas descem abaixo dos 25°C . O *bypass* ao recuperador de calor é ativado, todos os dias, durante os períodos em que a temperatura da sala é superior a 25°C e em que a temperatura do ar exterior for inferior a ela, o que acontece com bastante frequência, tal como é visível no gráfico da figura 5.25.

Conclui-se que, mesmo com este caudal de ventilação, também não é possível permanecer com conforto no interior da casa, principalmente nas horas em que a temperatura do ar exterior é elevada, apesar de se registar uma ligeira redução dos valores da temperatura registados no interior da casa protótipo relativamente aos do caso anterior.

iii. Com ventilação (caudal= $250\text{m}^3/\text{h}$)

Na figura 5.26 apresentam-se os resultados referentes ao caudal de $250\text{m}^3/\text{h}$.

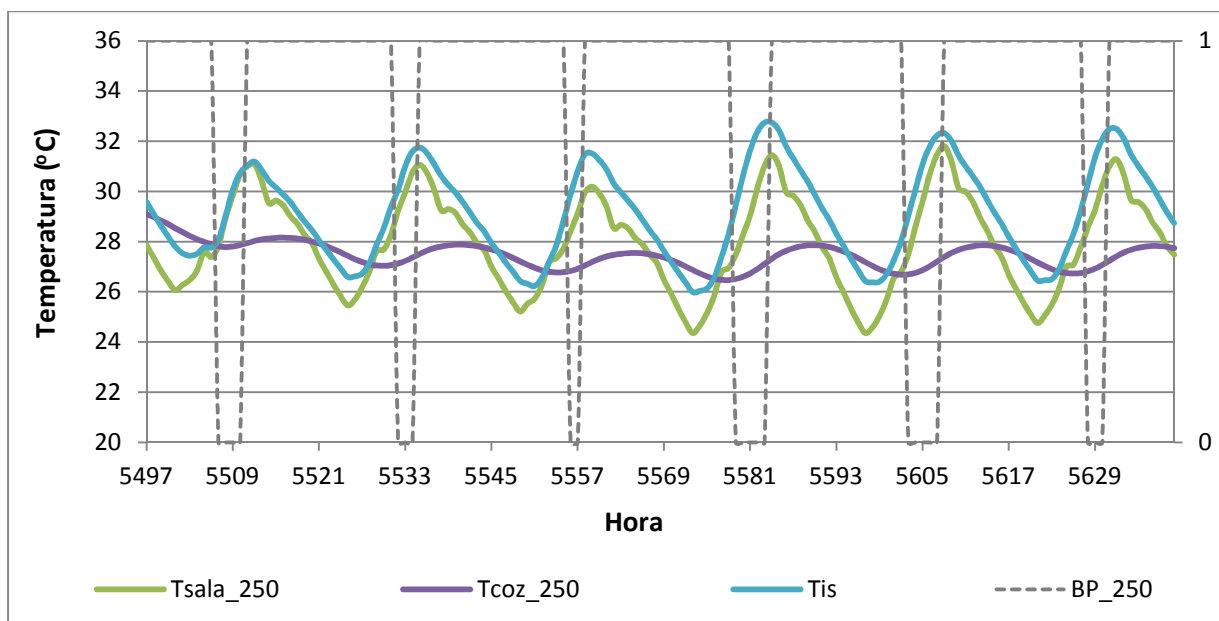


Figura 5.26 – Valores das temperaturas horárias em cada uma das divisões da casa protótipo (sala, cozinha e instalação sanitária) e da ativação do “bypass” ao recuperador de calor, durante um período do mês de agosto com sistema de ventilação ($Q=250\text{m}^3/\text{h}$)

Conforme o previsto, quando se aumenta o caudal da ventilação a temperatura no interior da casa volta a descer. As temperaturas mínimas registam valores na ordem dos 24°C e as máximas a rondar os 32°C .

Conclui-se que, com este caudal, apesar das condições térmicas no interior da casa melhorarem, também não é possível permanecer com conforto, durante a maior parte do período em análise, à semelhança das duas situações antes analisadas.

Finalmente, com o objetivo de consolidação da análise realizada, apresentam-se os gráficos das figuras 5.27, 5.28 e 5.29 com a evolução das temperaturas de cada uma das divisões da casa relativamente ao caudal.

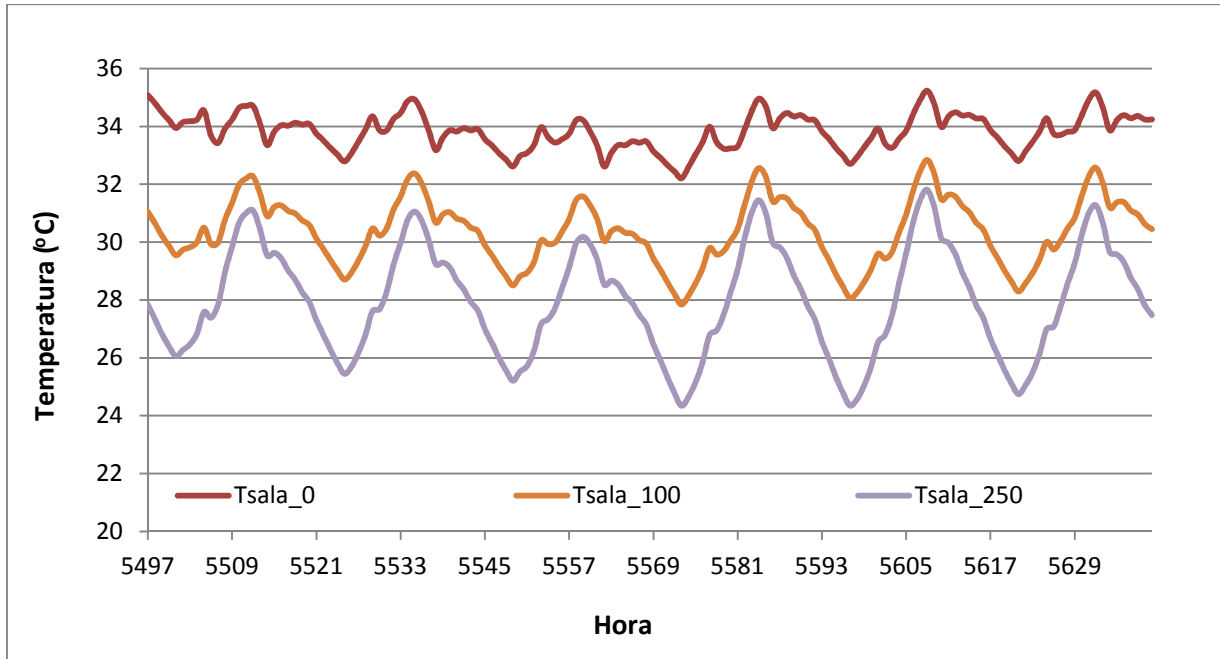


Figura 5.27 – Valores das temperaturas horárias na sala, durante um período do mês de agosto com três caudais de ventilação ($Q=0\text{m}^3/\text{h}$; $Q=100\text{m}^3/\text{h}$; $Q=250\text{m}^3/\text{h}$)

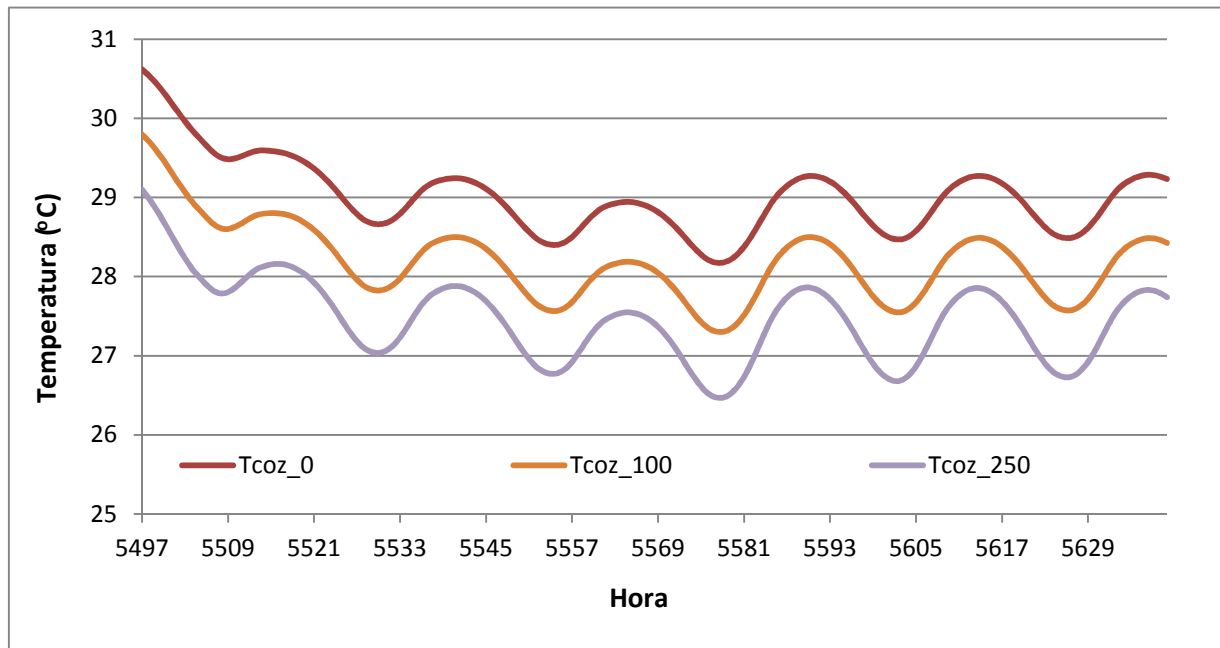


Figura 5.28 – Valores das temperaturas horárias na cozinha, durante um período do mês de agosto com três caudais de ventilação ($Q=0\text{m}^3/\text{h}$; $Q=100\text{m}^3/\text{h}$; $Q=250\text{m}^3/\text{h}$)

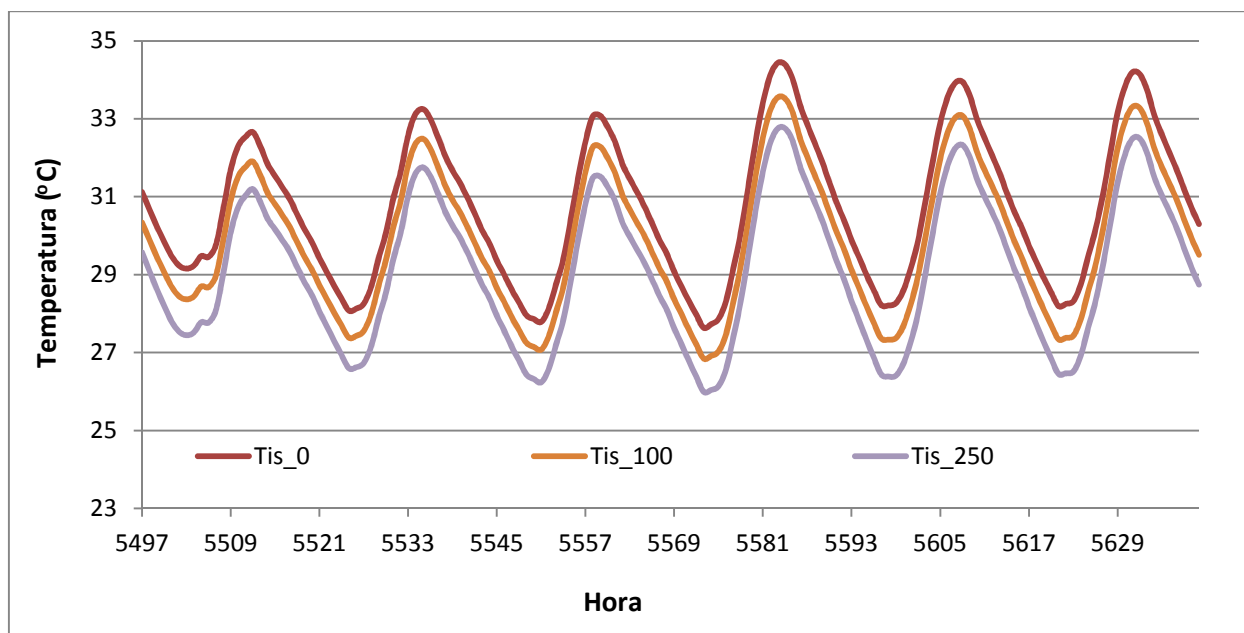


Figura 5.29 – Valores das temperaturas horárias na instalação sanitária, durante um período do mês de agosto com três caudais de ventilação ($Q=0\text{m}^3/\text{h}$; $Q=100\text{m}^3/\text{h}$; $Q=250\text{m}^3/\text{h}$)

Confirma-se que nas três divisões, a temperatura apresenta valores mais reduzidos quanto maior for o caudal de ventilação, o que significa que o caudal de $250\text{ m}^3/\text{h}$ é o mais adequado. É na sala que estas diferenças são mais significativas porque é nesse espaço que é insuflado o ar saído do recuperador, sendo então parcialmente extraído através dos outros dois compartimentos.

No entanto, apesar do controlo do caudal permitir reduzir a temperatura no interior da casa-protótipo não se conseguem condições de conforto térmico sem o auxílio de um sistema de climatização.

6. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL

6.1. Desempenho Ambiental de um Edifício

➤ Análise do Ciclo de Vida

A indústria da construção, respondendo às necessidades sociais e económicas, concebe e implanta infraestruturas (estradas, barragens, linhas de caminho de ferro), zonas urbanas (edifícios e parques), promovendo o crescimento e suporte dos processos de desenvolvimento. Estas atividades induzem também, em muitos casos, alterações substanciais no ambiente, incluindo impactes ambientais muito significativos. Em muitos casos, esses impactes, ou pelo menos parte deles, são de carácter negativo e afetam decisivamente o ambiente atual e o futuro.

A construção civil é uma atividade tendencialmente consumidora de recursos e em muitos casos com um impacte significativo no ambiente, embora procure crescentemente minimizar, ou compensar, os impactes negativos e valorizar os positivos. Entre os sistemas construtivos, os edifícios são por vezes menos considerados, embora, em termos práticos, sejam neles que vivemos cerca de 80 % do nosso tempo. Associados ao seu ciclo de vida estão também elevados valores de utilização de energia, água, matérias-primas e produção de resíduos, entre outros (Pinheiro, 2003).

O edifício deixa uma pegada ecológica desde a extração dos seus materiais, à reciclagem dos mesmos ou até à reciclagem dos elementos e componentes construtivos (portas, vidros, etc.). A construção de cidades e edifícios podem ajudar a regular a poluição e o impacte ambiental como o efeito de estufa, a depredação de recursos naturais, o *smog* (nevoeiro), a acidificação, a eutrofização, a radiação emitida e em geral as emissões poluentes. Cabe ao projetista, ao construtor, ao dono de obra e aos utentes do edifício diminuir os seus impactes (Delgado & Santos, s/ data).

As atividades associadas à construção de ambientes construídos, infraestruturas e edifícios, bem como os seus efeitos ambientais, variam com as suas tipologias e ao longo da vida das construções. "A forma como as estruturas construídas são obtidas e erigidas,

usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constituem o ciclo completo das atividades construtivas sustentáveis" (Pinheiro, 2008).

O ciclo de vida das construções inicia-se na concepção e perpetua-se até à desativação, passando pela construção e operação (ver figura 6). A maior expressão em termos de consumo de recursos encontra-se nas fases de Construção e Desativação, enquanto que na fase de Operação e Utilização o consumo é elevado mas trata-se de um consumo maioritariamente energético.

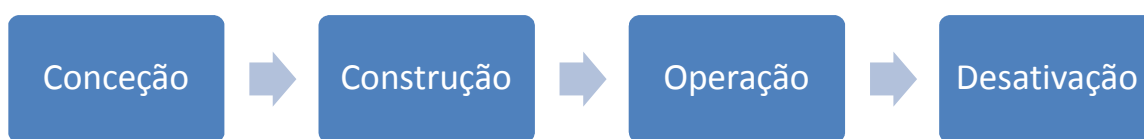


Figura 6.1 - Ciclo de vida das construções (FONTE: Pinheiro, 2008)

Sendo a vida útil de um edifício projetado para 40 anos, sabemos sempre que com as ações de manutenção necessárias os edifícios acabam por perdurar muitos mais anos do que o inicialmente previsto. As durações das diversas fases têm tempos muito diferentes e nem sempre é sensato compará-las. A fase de Construção dura alguns meses, ou mesmo um número reduzido de anos, enquanto a fase de Operação durará sempre muitos anos.

Isto significa que o consumo energético do edifício, nunca poderá ser calculado de forma exata ao longo da sua vida útil, para além de que, o seu tempo de vida útil pode ser, ou não, uma incógnita no futuro. O desenvolvimento de novas tecnologias e novas práticas de consumos merecem, por isto, a atenção devida.

Neste trabalho é feito um cálculo do consumo energético com as diversas atividades ao longo da sua utilização, bem como da sua manutenção e, finalmente da sua demolição.

A geração de resíduos sólidos e líquidos em todas as fases do ciclo de vida de um edifício contribui para a poluição do solo, sobrecarregando os aterros sanitários e também para a poluição das águas pela emissão de efluentes líquidos. Atribui-se às perdas e

desperdícios, grande parte da responsabilidade pelo elevado volume de resíduos descartados nas fases do ciclo de vida de um edifício. Os impactes dos edifícios, tal como os das restantes estruturais, refletem-se de formas diferentes nas diferentes fases do seu ciclo de vida, desde a Conceção à Demolição (Barroso, 2010).

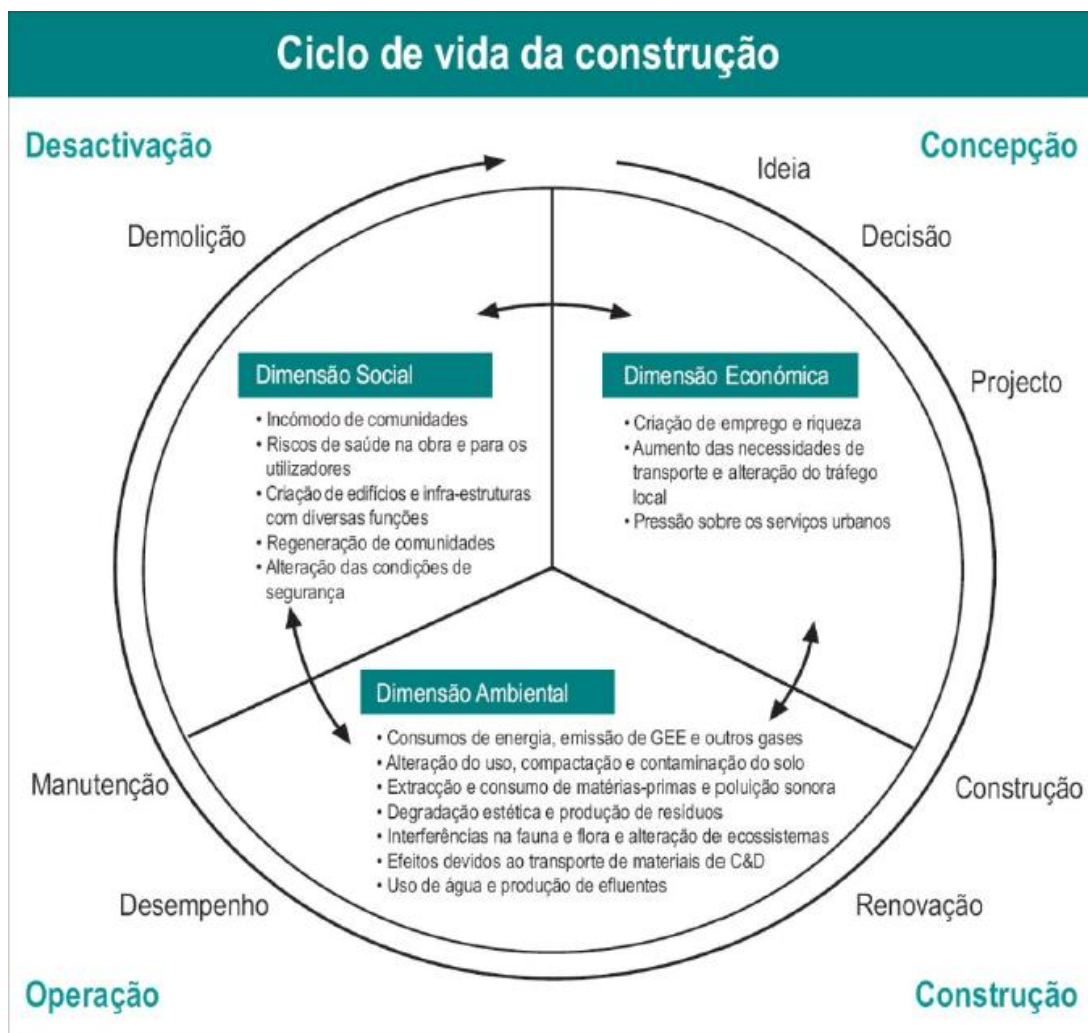


Figura 6.2 – Impactes ambientais no ciclo de atividades da construção (FONTE: Pinheiro, 2008)

Em síntese, os impactes ambientais mais relevantes provocados pela construção civil podem considerar-se os seguintes: a extração e o consumo de matérias-primas, a alteração do uso do solo, a compactação do solo e, eventualmente, a sua contaminação, o ruído resultante das atividades construtivas e de operação (poluição sonora), os consumos de energia e as emissões de gases com efeito de estufa, bem como outras

emissões, a afetação das espécies naturais e seus habitats e a intrusão visual e a alteração da paisagem natural (Pinheiro, 2008).

Banaitiene *et al.*, 2008 apresentam uma metodologia que permite ao "participante/tomador de decisão" ter disponíveis várias alternativas de projeto e avaliá-las em termos de critérios qualitativos e quantitativos tendo em consideração a análise do ciclo de vida do edifício. Assim, os profissionais podem resolver o problema de otimização do processo de acordo com a satisfação das necessidades dos clientes e com custos razoáveis.

✓ **Planeamento e conceção**

A fase de planeamento e conceção consiste no levantamento das condições que permitem executar o projeto, até à sua elaboração. É uma fase em que a escala temporal varia entre meses, podendo por vezes atingir alguns anos, nomeadamente ao envolver as atividades de autorização dos projetos para a sua construção.

No que se refere ao planeamento e localização, esta é uma atividade muito importante, associando-se os efeitos no local pelo que o impacto resulta do traçado, da localização, da ocupação do solo, dos materiais a utilizar, entre outros.

No projeto podem incluir-se o estudo prévio e o projeto de execução. Esta fase é, provavelmente, a mais importante do processo, pois é nesta altura que se tomam as principais decisões referentes ao local, à conceção, aos fornecedores, aos materiais a utilizar, às necessidades energéticas e de água e outras, cujas consequências se irão refletir nas restantes fases do ciclo de vida da construção.

Deste modo, é nesta fase que se tomam as principais decisões a que muitos dos impactos ambientais, que ocorrem posteriormente, estão associados e são, essencialmente, provocados nas outras fases.

Os efeitos ambientais diretos estão associados aos trabalhos de conceção e levantamentos efetuados, para obtenção de dados. Em termos de dimensão, os impactos efetivos desta fase são muito reduzidos e quase sem significado quando comparados com as restantes fases, sendo essencialmente associados aos consumos (muito reduzidos):

- Energia, transporte e deslocamentos: para analisar o local e efetuar os levantamentos necessários;
- Consumo de papel: é uma fase de elevado consumo de papel, no desenvolvimento do plano e projeto, bem como no processo de autorização e licenciamento;
- Consumos e emissões associados à operação de escritórios: como grande parte da atividade é executada em escritórios, os efeitos da sua operação (consumo de energia, por exemplo) podem originar impactos ambientais.

Em síntese, a importância desta fase de concepção, associa-se à tomada de decisões, que podem levar a uma concepção com a preocupação de reduzir os impactos da construção e da operação, quer a nível dos materiais, quer a nível energético. É a fase decisiva para os eventuais impactos futuros, começando pelo solo (Pinheiro, 2008).

Dependendo da dimensão do projeto pode ser necessário efetuar análises do terreno (sondagens), diferentes dos simples levantamentos topográficos, em que estes podem evidenciar um consumo mais alargado de energia. É importante que nesta fase todos os requisitos do cliente fiquem satisfeitos, pois só assim associando-se à tomada de decisões, poder-se-á reduzir os impactos na construção e na operação, quer a nível dos materiais, quer a nível energético. É na construção de um edifício que vamos criar bases fortes para a sua evolução ou seja, é nela que reside a sua sobrevivência futura ou não, estando inerente a sustentabilidade dessa construção.

✓ **Construção**

Na fase de construção incluem-se todas as ações que vão desde o concurso e o início da construção propriamente dita, até à receção da obra por parte do proprietário, numa escala temporal que pode ir de dias a alguns anos, embora a unidade de referência sejam os meses.

Na fase de construção a atenção recai, sobretudo, sobre a forma de desenvolvimento do processo construtivo, sendo esta associada, essencialmente, à intervenção no local, com alteração do uso do solo, consumo de matérias-primas, energia e água e alterações nos ambientes natural e/ou construído.

Para execução das construções, torna-se necessário extrair e consumir matérias-primas. Esta fase (e a fase de renovação) é dominante no que se refere à necessidade de materiais na construção. Os impactos da extração, ou transformação, são também importantes, ainda que, na maior parte dos casos, sejam da responsabilidade da indústria produtora, pois não são específicos do setor da construção. No caso das estruturas edificadas estima-se que o impacto devido aos materiais represente cerca de 10-20% do impacto de um edifício, em todo o seu ciclo de vida (Edwards, 2003).

Estas atividades necessitam de energia e, conseqüentemente, produzem emissões, aumentam a necessidade de transportes (devido ao transporte de materiais de construção), o que por sua vez aumenta o tráfego, o consumo de combustível e as emissões atmosféricas, cria poluição acústica e vibrações e provoca a degradação estética do local.

Um problema causado com as novas construções e com construções existentes é o aumento das zonas impermeabilizadas, o que faz ampliar a escorrência superficial que por sua vez origina maior drenagem superficial e o aumento da probabilidade de cheias.

As atividades construtivas nas zonas de ambientes naturais, ou na sua proximidade, ao serem intrusivas, provocam claramente interferências na fauna e na flora e alterações na dinâmica dos ecossistemas. As obras em si, em ambientes construídos, traduzem-se em interferências e incómodos para as comunidades, nomeadamente alterações no tráfego local (devido à circulação dos veículos de e para a obra e possivelmente devido a alterações do traçado das vias rodoviárias) e alterações das condições de segurança.

A fase de construção é, claramente, a que induz impactos mais relevantes e alterações mais significativas, em curtos períodos de tempo, nos sistemas ambientais, em termos de ocupação de solo e alteração dos ecossistemas e paisagem. Em particular, deve ser enfatizado que, num período curto, esta fase gera alterações muito relevantes (Pinheiro, 2008).

✓ Operação

A fase de operação estende-se desde a receção da obra por parte do proprietário, até ao fim da utilização do empreendimento. Nesta podem incluir-se, também, as operações de manutenção e renovações pontuais. A manutenção é uma atividade fundamental, compreendendo a execução de atividades, incluindo construtivas, que devem ter um carácter periódico e preventivo.

Os impactes relevantes associados ao empreendimento edificado, decorrentes da sua operação, resultam: no consumo de energia, de água e de materiais e na produção de resíduos, de efluentes e de emissões atmosféricas, com consequentes impactes diretos.

O consumo de materiais para o funcionamento nos edifícios é uma componente importante. Os edifícios funcionam como armazenamento de materiais, decorrentes do facto de as estruturas construídas acumularem uma importante parte dos materiais extraídos, por períodos alargados (dezenas de anos).

Em Portugal, a operação dos edifícios, segundo dados do balanço energético nacional de 1999, corresponde a cerca de 22% do consumo final de energia, isto é um consumo total de 3,5 Mtep (milhões de toneladas equivalente de petróleo), sendo 13% dos edifícios residenciais e os restantes 9% referentes aos de serviços (DGEG, 2009).

No que diz respeito à água, os valores de consumo nas habitações oscilam, em média, entre 160 e 200 litros *per capita*.dia nas residências, o que significa que, em peso, se consome em cada dia muito mais de que o peso total de cada um de nós.

Estes valores permitem concluir que os consumos anuais são da ordem dos 59 a 73 m³/ano nas residências, sendo vulgar os valores nos hotéis serem ainda mais elevados.

Grande parte da água consumida, isto é, mais de 80%, é depois descarregada sob a forma de efluentes líquidos, que exigem tratamento adequado, obrigando a dispor de ETAR's, consumindo energia e reagentes e produzindo lamas.

Durante os últimos oito anos o Instituto de Wuppertal tem trabalhado, também, na área da eficiência dos recursos da construção e dos edifícios, Wallbaum, 2003 após analisar a intensidade de materiais em mais de cem edifícios não nacionais, evidenciou que os novos edifícios dispõem de menor intensidade em materiais na sua fase de uso, apontando para o facto de um apartamento ter um requisito de materiais (TMR) da ordem de 122 kg/m^2 por ano.

Os materiais não aproveitados, na operação e manutenção, dão origem a resíduos. Em Portugal, no ano de 2001, foram recolhidos pelos sistemas municipais entre 4 a 4,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (REA, 2008). Para além destes são também produzidos resíduos associados às atividades de renovação.

Existe igualmente um conjunto de emissões interiores e exteriores de outras substâncias. Por exemplo, cerca de metade dos CFC's produzidos no mundo inteiro são usados na refrigeração e em sistemas de ar condicionado utilizados para climatizar os edifícios, em sistemas de extinção de incêndios e em sistemas de isolamento térmico e acústico.

A utilização de materiais que podem conter ou libertar, substâncias perigosas (amianto, compostos orgânicos voláteis, radioatividade natural, como por exemplo, o radão), bem como condições de humidade, temperatura ou ventilação inadequadas, ou sistemas que podem permitir o desenvolvimento de agentes patogénicos (por exemplo, o ar condicionado), podem originar riscos de saúde para os utilizadores (como é o caso da doença do legionário derivada dos problemas de manutenção de ar condicionado), tanto mais acrescidos uma vez que, em média, o tempo de permanência nos vários tipos de edifícios é da ordem dos 80%.

Assim, o ambiente interior, nomeadamente o conforto e a saúde e segurança dos utilizadores é também um aspeto importante a considerar nos impactes ambientais, associados aos edifícios, cerca de 30% de todos os edifícios novos e remodelados têm baixa qualidade do ar interior, devido a emissões nocivas, a condições de humidade erradas e a má ventilação, as quais geram o aparecimento de agentes patogénicos (Bourdeau et al., 1998).

Como se referiu, um dos efeitos indiretos, também associados aos edifícios, prende-se com o aumento das necessidades de transporte e a alteração do tráfego local, a pressão sobre os serviços urbanos e a geração de emprego e riqueza.

A operação dos empreendimentos edificados, embora os seus efeitos sejam mais discretos, lentos e progressivos, ao longo de, usualmente, várias dezenas de anos, acaba por consumir recursos, gerar emissões, alterar os sistemas ambientais naturais e construídos, de forma mais significativa do que a fase de construção (Pinheiro, 2008).

✓ **Renovação e Desativação**

As fases de manutenção e renovação representam cerca de 1/3 das atividades construtivas na Europa (CICA - Confederation of International Contractor's Associations, 2002), enquanto que em Portugal representavam, no ano de 1997, apenas 4% do total (Piedade, 2003). Os dados de 2003 do INE apontam para que das obras efetuadas nos 47 585 edifícios, apenas 4% sejam de reconstrução e 13% consistam em alterações e ampliações.

Esta é uma fase desenvolvida pelo setor da construção civil, com a mesma tipologia de efeitos anteriormente descritos para a construção, sendo de destacar que, dada a forma de eliminação ou substituição (desativação), ela se traduz num importante acréscimo, do ponto de vista de produção de resíduos.

Os restantes impactes são, no geral, mais reduzidos no que se refere ao consumo de materiais, existindo, contudo, impactes importantes ao nível da energia, das emissões (nomeadamente, de ruído e vibrações) e, em especial, nos resíduos (embora a nível nacional o seu valor seja, por enquanto, reduzido).

Se bem que em Portugal, a demolição (ou desconstrução) seja ainda reduzida, a nível Europeu tal fenómeno é precisamente inverso, levando a que os resíduos de construção rondem os 10-20%, os resíduos de remodelação, reabilitação e renovação 30-50% e os resíduos de demolição 40-50%. Por exemplo, em França, cerca de 43% dos resíduos da construção civil provêm da fase de demolição (Teixeira & Couto, 2004).

Os impactes dependem da forma como a intervenção é efetuada e da presença, ou não, de uma perspetiva de reutilização, ou reciclagem, dos resíduos produzidos, atenuando-se assim as necessidades de vazadouros e conduzindo a uma menor procura de novos materiais, não deixando, no entanto, de existir consumos de energia e, pontualmente, emissões na reciclagem de produtos de demolição.

6.2. Metodologia

➤ Análise energética do ciclo de vida

A análise energética do ciclo de vida é uma abordagem que tem em consideração todos os *inputs* de energia num edifício durante o seu ciclo de vida. Os limites do sistema desta análise (Fig. 6.3) incluem o uso de energia nas seguintes fases: produção, uso e demolição. A fase de produção inclui a produção e transporte de materiais de construção e instalações técnicas utilizadas na construção e na renovação dos edifícios. A fase de operação abrange todas as atividades relacionadas com a utilização do edifício ao longo do seu ciclo de vida. Essas atividades incluem a manutenção de condições de conforto no interior dos edifícios, o uso da água e aparelhos elétricos. Finalmente, a fase de demolição inclui a destruição do edifício e o transporte de materiais desmontados para aterros sanitários e/ou centros de reciclagem (Ramesh, Prakash & Shukla, 2010).

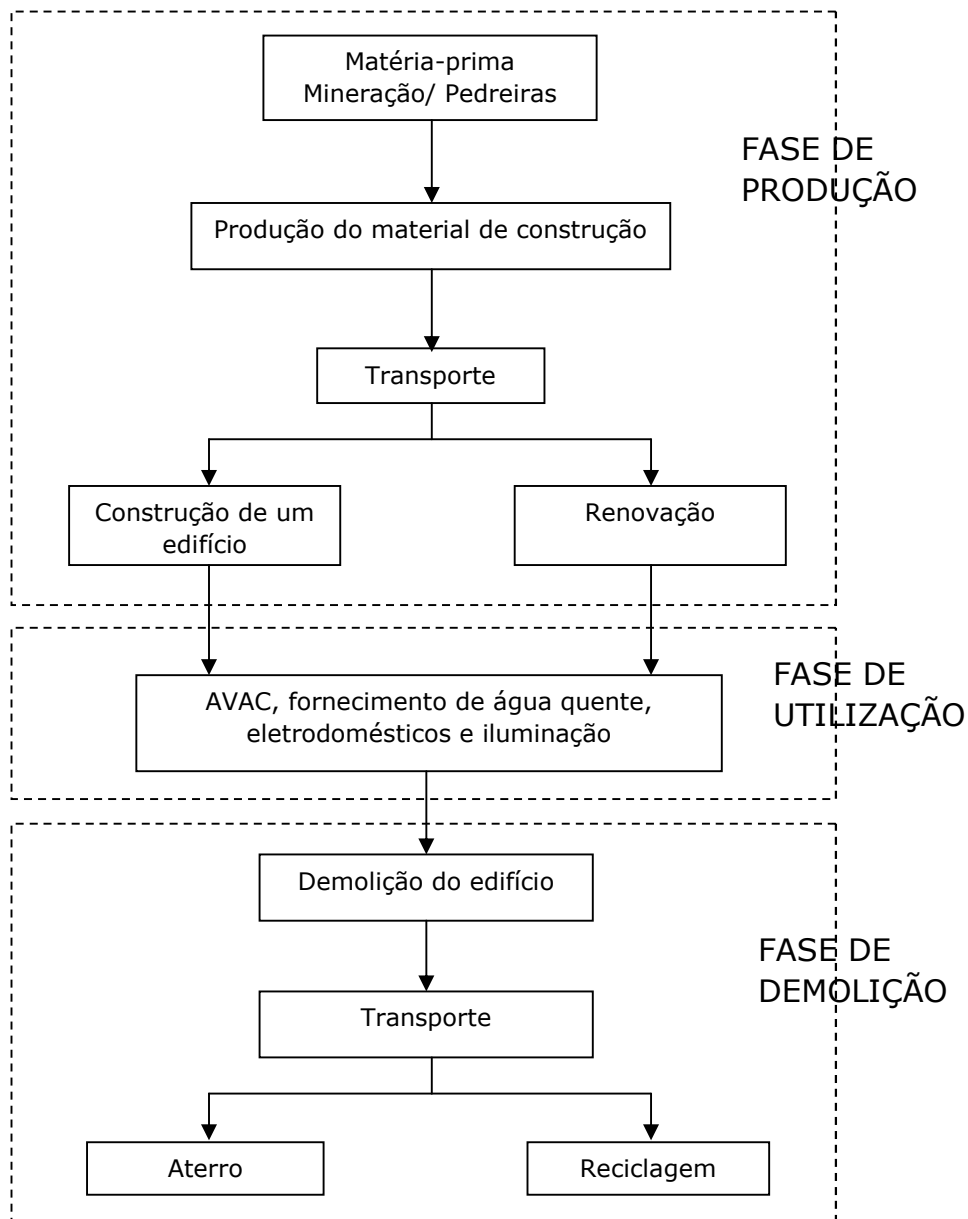


Figura 6.3 – Limites do sistema para a análise do ciclo de vida energético de um edifício
(FONTE: Ramesh, Prakash, & Shukla, 2010)

i. Energia incorporada

A energia incorporada é a energia utilizada durante a fase de produção do edifício, sendo obtida através do conteúdo energético de todos os materiais utilizados na construção do edifício e nas instalações técnicas e a energia utilizada no momento da construção e

renovação do edifício. O conteúdo energético dos materiais refere-se à energia utilizada para adquirir as matérias-primas (escavação), produção e transporte para o local da obra.

A Energia inicial incorporada num edifício é a energia necessária para a construção inicial do edifício. É expresso como:

$$EE_i = m_i M_i + E_c \quad (6.1)$$

Onde:

EE_i - energia inicial incorporada no edifício (KWh);

m_i - quantidade do material de construção (i) (Kg);

M_i - conteúdo energético do material (i) por quantidade unitária (KWh/Kg);

E_c - energia usada no local para a construção do edifício (KWh).

ii. Energia operacional

É a energia necessária para manter as condições de conforto e a manutenção diária dos edifícios. São parcelas desse total, a energia consumida pelo sistema de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), pela iluminação e aparelhos elétricos.

A energia operacional pode variar muito de acordo com o nível de conforto exigido, as condições climáticas e os horários de funcionamento. A energia operacional durante a vida útil do edifício é expressa por:

$$OE = E_{OA} L_b \quad (6.2)$$

Em que:

OE - energia operacional durante a vida útil do edifício (kWh);

E_{OA} - energia operacional anual (kWh/ano);

L_b - tempo de vida do edifício (ano).

iii. Energia de demolição

No final da vida útil dos edifícios, a energia é necessária para demolir o edifício e transportar os resíduos para aterros sanitários ou centros de reciclagem. Esta energia é denominada como energia de demolição e expressa como:

$$DE = E_D + E_T \quad (6.3)$$

Onde:

DE - energia de demolição (kWh);

E_D - energia utilizada para a destruição do edifício (kWh);

E_T - energia utilizada para o transporte dos resíduos (kWh).

iv. Ciclo de vida energético

A Energia utilizada durante o ciclo de vida do edifício é a soma de todas as energias referidas anteriormente. Como tal, é expressa como:

$$LCE = EE_i + OE + DE \quad (6.4)$$

A poupança de energia resultante da reciclagem ou reutilização dos materiais de demolição não é considerada na estimativa do ciclo de vida energético dos edifícios. Isto é, principalmente, devido ao facto de não existir um acordo sobre a atribuição dessa energia economizada na demolição do edifício. No entanto, seria mais apropriado se essa energia resultante da reciclagem ou reutilização fosse incorporada na estimativa da energia global do ciclo de vida.

Estudos sobre o uso de energia durante o ciclo de vida do edifício são desejáveis, para avaliar estratégias visando a redução da exigência de energia dos edifícios. Através da realização da análise energética do ciclo de vida, as fases que têm maior consumo de energia podem ser identificadas e direcionadas para a otimização. A energia envolvida no ciclo de vida de um edifício, se quantificada em termos de energia primária pode dar uma indicação útil relativamente às emissões de gases de efeito estufa (GEE) atribuídas aos edifícios, logo é possível avaliar o seu impacto sobre o ambiente (Ramesh, Prakash, & Shukla, 2010).

6.3. Apresentação e discussão de Resultados

➤ Análise do Ciclo de Vida – sistema construtivo Soliterm+

i. Energia inicial incorporada

Para dar início ao cálculo da energia inicial incorporada do protótipo em estudo, foi necessário fazer um levantamento de todos os materiais envolvidos na construção do edifício e respetivas quantidades. Não se consideraram todos pois era um trabalho demasiado exaustivo e cujos resultados teriam uma reduzida expressão no balanço final de energia. Destacam-se o poliestireno extrudido (XPS) e o betão uma vez que são os mais utilizados. Relativamente ao aço não foi possível obter a informação acerca da quantidade utilizada.

Sabendo o conteúdo energético do material por quantidade unitária, através de consulta bibliográfica, pode obter-se a primeira parcela necessária ao cálculo da energia inicial incorporada.

Tabela 6.1 – Materiais de construção mais relevantes utilizados no protótipo (Sistema Soliterm+)

| Material de construção | mi (Kg) | (Mi) Conteúdo energético do material/ quantidade unitária - KWh/Kg (Mi) | mi Mi (kWh) |
|-------------------------------|--------------------|--|------------------------|
| XPS | 498 | 27,86 | 13874,28 |
| Betão | 30000 | 0,33 | 9900 |
| Vidro | 250 | 5,11 | 1277,5 |
| Aço | - | - | - |
| Gesso projetado | 2847,5 | 1,05 | 2989,875 |

| Material de construção | m_i (Kg) | (M_i) Conteúdo energético do material/ quantidade unitária - KWh/Kg (M_i) | $m_i M_i$ (kWh) |
|---------------------------------|---------------|--|--------------------|
| Pavimento flutuante carvalho | 22610 | 1,39 | 31427,9 |
| $\Sigma m_i M_i$ | | | 59 469,56 |

É também necessário proceder ao cálculo da energia utilizada no local para a construção do edifício (E_c). Considerou-se a energia de 6 trabalhadores a trabalhar durante um período de sete horas no local durante oito dias (de acordo com a informação da empresa responsável pela construção do protótipo) e a energia dispendida pelo camião-betoneira, tanto na viagem (Lisboa-Moura) como no enchimento da estrutura com betão no local (ver tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Energia utilizada no local para a construção do edifício

| | |
|--|---------|
| Energia (trabalhadores) (KWh) | 105,84 |
| Energia dispendida pelo Camião (KWh) | 945 |
| Energia dispendida pelo Camião-betoneira (KWh) | 1575 |
| E_c (KWh) | 2625,84 |

Assim já é possível calcular a energia inicial incorporada e o seu valor é de:

$$EE_i = \sum m_i M_i + E_c = 59469,56 + 2625,84 = \mathbf{62\ 095\ KWh}$$

ii. Energia operacional

A energia elétrica necessária para o funcionamento da casa-protótipo depende apenas dos cinco painéis solares fotovoltaicos que lá se encontram instalados, visto que ela se

destina à habitação em países como o Brasil e Angola, em locais sem acesso a energia elétrica fornecida por uma rede de distribuição. Então assume-se que apenas irá dispor do sol como fonte de energia.

Para se poder calcular esta energia foi necessário começar por determinar a produção anual de energia do sistema fotovoltaico para depois se selecionarem os equipamentos elétricos mais importantes, tendo em consideração a energia disponível.

A produção anual de energia do sistema fotovoltaico pode ser calculada, utilizando a seguinte fórmula:

$$E_{pv} = \eta_{BOS} K_{pv} P_{pv} S \quad \text{(6.5)}$$

Em que:

η_{BOS} - é a eficiência do sistema sem a eficiência do módulo fotovoltaico (considera-se um valor de 75%)

K_{pv} - Factor de decréscimo: tem em consideração fenómenos como a temperatura do módulo, o pó, perdas no circuito, etc. (considera-se um valor de 0,9)

P_{pv} (KW) - é a potência nominal da série de painéis em determinadas condições *standard* (STC)

S (KWh/m²) – radiação solar anual. Considerou-se uma média dos valores recolhidos na estação meteorológica de Moura fornecida pela empresa, Lógica, S.A.)

Então, tem-se:

$$E_{pv} = \eta_{BOS} K_{pv} P_{pv} S = 0,75 \times 0,9 \times 0,375 \times 5 = \mathbf{461,95\ KWh/ano}$$

Inicialmente, pretendia-se equipar a casa com os seguintes equipamentos elétricos e iluminação.

Tabela 6.3 – Equipamentos elétricos

| Equipamentos elétricos | Potência (KW) | Utilização (horas/dia) | Energia utilizada/ ano (KWh/ano) |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|---|
| Ventilador | 0,06 | 5 | 109,50 |
| Frigorífico | 0,032 | 24 | 280,32 |
| Máquina de lavar roupa | 2,5 | 0,571 | 521,04 |
| Televisão | 0,2 | 4 | 292,00 |
| TOTAL | | | 1202,86 |

Tabela 6.4 – Iluminação

| Iluminação | Potência (KW) | Utilização (horas/dia) | Energia utilizada/ ano (KWh/ano) |
|-------------------|----------------------|-------------------------------|---|
| Sala | 0,05 | 2 | 36,50 |
| WC | 0,03 | 0,5 | 5,48 |
| Cozinha | 0,04 | 1 | 14,60 |
| TOTAL | | | 56,58 |

No entanto verificou-se que se o protótipo fosse equipado desta forma, o total de energia necessária seria de cerca de 1259 KWh/ano. Ora se o sistema de painéis fotovoltaicos fornece apenas cerca de 462 KWh/ano teríamos um défice de energia de 798KWh/ano.

Assim, foi necessário optar-se pelos equipamentos considerados essenciais que foram o ventilador e o frigorífico, assim como a iluminação de toda a casa. Desta forma, a energia utilizada anualmente é de 446,4 KWh/ano.

A casa protótipo também está equipada com coletores solares térmicos, o que permite a produção de água quente sanitária. Como se trata de um processo energeticamente exigente é importante considerá-lo nesta análise.

Tabela 6.5 – Águas Quentes Sanitárias

| | Litros/dia | ΔT (°C) | Dias/ano | KWh/ano |
|-----|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| AQS | 50 | 45 | 365 | 953,56 |

Relativamente às águas quentes sanitárias, a energia utilizada anualmente é de aproximadamente 954 KWh/ano.

Para o cálculo da energia operacional, considerou-se um tempo de vida útil do edifício de 50 anos, período este que pode ser consideravelmente aumentado se forem efetuadas obras de manutenção.

$$OE = E_{OA}L_b = 1399,95 \times 50 = \mathbf{69\ 997,5\ KWh}$$

Comparativamente à energia inicial incorporada, a energia operacional não apresenta um valor muito elevado. E toda esta energia é proveniente de uma fonte energética renovável.

iii. Energia de demolição

Para o cálculo da energia utilizada para a destruição do edifício consideraram-se quatro trabalhadores durante seis horas e desprezou-se o valor referente à energia utilizada para o transporte dos resíduos. De acordo com a informação cedida pela Câmara Municipal de Moura, neste momento não existe uma solução municipal para a deposição de resíduos de construção e demolição, por isso, não se considerou esta parcela para o cálculo da energia de demolição.

Tabela 6.6 – Energia utilizada no local para a demolição do edifício

| | |
|----------------------------------|--------|
| Energia (trabalhadores) (KWh) | 7,56 |
| Energia camião-grua (KWh) | 472,5 |
| E_D (KWh) | 480,06 |

Logo,

$$DE = E_D + E_T = E_D + 0 = \mathbf{480,06 KWh}$$

iv. Ciclo de vida energético

Uma vez que já foram calculadas todas as parcelas energéticas existentes durante o ciclo de vida energético do protótipo, é possível agora apresentar a análise global.

Tem-se que:

$$LCE = EE_i + OE + DE = 62\,095 + 69\,997,5 + 480,06 = \mathbf{132\,572,56 KWh}$$

Conclui-se que o edifício consome cerca de 132 572,56 KWh durante o seu ciclo de vida (2651,45 KWh/m²). A energia operacional é que possui a maior expressão ao longo do ciclo de vida do edifício (52,8%) e toda ela é proveniente de uma fonte energética renovável, o sol. A energia inicial incorporada corresponde a cerca de 46,8% da energia total e praticamente toda proveniente de combustíveis fósseis (gasóleo dos camiões). A energia de demolição é praticamente desprezável na análise global (0,36%), tal como verificado por Ramesh *et al.*, 2010.

Para terminar esta análise foi ainda necessário converter-se a energia do ciclo de vida energético do edifício proveniente de combustíveis fósseis em emissões de carbono. Após os cálculos e considerando-se o fator de emissão para o gasóleo de 74,1 tonCO₂/TJ, conclui-se que em todo o seu ciclo de vida, a casa emitiu 7,98 tonCO₂ para a atmosfera correspondente aos gastos de gasóleo dos camiões utilizados na fase inicial e

final do ciclo de vida do protótipo. Estes podem ainda ser neutralizados recorrendo a um biocombustível. Com estes resultados conclui-se que é um edifício “carbono-zero”, uma vez que as emissões de GEE são desprezáveis, podendo afirmar que se trata efetivamente de uma casa com pegada ecológica neutra.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos nas simulações efetuadas é possível retirar algumas conclusões relativamente ao comportamento térmico da casa protótipo durante o ano.

- Durante os meses mais frios, o sistema construtivo Soliterm+ consegue manter uma temperatura média no interior do edifício relativamente elevada, apesar de ser inferior ao intervalo de conforto, durante largos períodos;
- Aumentando o fator *c/o* nesses períodos e adicionando uma fonte de calor no interior da casa consegue-se uma situação de conforto no interior da casa;
- Em maio e junho é necessário reforçar a ventilação para reduzir a temperatura no interior da casa, uma vez que esta atinge valores superiores ao intervalo de conforto, sendo o caudal mais adequado de 250 m³/h;
- Nos meses de julho e agosto (meses que registam os valores mais elevados de temperatura anual na região considerada), é necessário um sistema de climatização para assegurar o conforto térmico no interior da casa. A ventilação com recuperação de calor não é suficiente para o conseguir;
- Em setembro, o sistema de ventilação é já suficiente para assegurar o conforto;
- Em novembro e dezembro, para obter temperaturas confortáveis no interior da casa protótipo é necessário reduzir a ventilação, mas mesmo assim com algum desconforto.

Em suma, durante praticamente todo o ano, a ventilação é necessária para assegurar o conforto térmico, para além da indispensável ventilação, no interior da casa, "mais forte" nos períodos em que a temperatura exterior é mais elevada e "mais moderada" nos períodos em que ela é mais baixa.

É no período do verão que o sistema Soliterm+ apresenta uma maior fraqueza, uma vez que as temperaturas no interior da casa são bastante elevadas e mais distantes das requeridas temperaturas de conforto. Por isso, analisou-se em detalhe um dos períodos mais quentes do ano e verificou-se que quanto maior for o caudal utilizado na ventilação, menores são as temperaturas no interior da casa protótipo, mas ainda assim sem os

resultados práticos de redução da temperatura no interior. Só com um sistema de climatização adicional se consegue permanecer com conforto no interior da casa.

Este registo é devido sobretudo à fraca inércia térmica interior da casa que agrava a flutuação excessiva da temperatura interior que acontece praticamente ao ritmo da variação da temperatura exterior.

Relativamente à Análise do Ciclo de Vida Energético da casa protótipo verificou-se que se trata de um edifício com pegada ecológica neutra, uma vez que as emissões de GEE resultam apenas dos combustíveis fósseis dos transportes utilizados. Durante o período de utilização da casa (o mais exigente energeticamente) é utilizada a energia solar para assegurar o fornecimento de energia elétrica e o aquecimento das águas quentes sanitárias.

Esta casa protótipo é uma solução adequada, tanto ambiental como energeticamente, assegurando conforto térmico aos seus ocupantes com custos ambientais praticamente nulos. No entanto, apresenta um comportamento desfavorável quando a temperatura no exterior é muito elevada sendo mais adequado para climas mais frios e apresentando uma maior fraqueza em climas quentes. Recorrendo a técnicas bioclimáticas pode minimizar-se este problema inerente à fraca inércia térmica do edifício.

Poderia pensar-se que o forte isolamento e um consumo energético tão reduzido poderia ter efeitos negativos na qualidade do ar interior e no conforto térmico. Mas apesar de não se terem recolhidos dados sobre este parâmetro, o sistema de ventilação fornece constantemente uma boa qualidade do ar interior e com o recuperador de calor resolvem-se alguns dos problemas em casos de temperaturas mais reduzidas.

Trata-se de um edifício que está de acordo com a revisão da Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) em vigor desde 2010 que exige que em 2020, todos os edifícios novos e renovados terão de ter necessidades de energia quase nulas e que deverão produzir as suas necessidades energéticas através de fontes renováveis. Encontra-se ainda inserido no conceito *Passivhaus* (norma já obrigatória em alguns países) que tem como base um excelente isolamento térmico, um sistema de

ventilação que fornece ar novo constante ao interior e um sistema de recuperação de calor de elevada eficiência.

O sistema Soliterm+, para além de assegurar vantagens que se prendem com as suas características intrínsecas e que já foram referidas está ainda em concordância com as exigências legais e normativas ao nível europeu.

Sugestões

Terminado este estudo verifica-se que existem aspetos que devem ser aprofundados futuramente.

A análise comparativa dos resultados da simulação com dados reais efetivamente medidos na casa protótipo é importante para validação dos resultados obtidos.

Também será interessante fazer um estudo económico da casa e, poder-se assim, juntar à vertente térmica e ambiental. Esta última poderá ser aprofundada e realizar-se uma Análise do Ciclo de Vida que inclua outras componentes ambientais, tais como: resíduos, água, etc., ou até mesmo um estudo de impacte ambiental.

Finalmente, poderá vir a ser realizado um estudo comparativo entre uma casa com o sistema Soliterm+ e uma com características semelhantes mas construída com um sistema tradicional.

BIBLIOGRAFIA

79/2006, D.-L. n. (4 de abril de 2006). Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE). Lisboa: Diário da República, I Série-A.

ADENE - Agência para a Energia. (s.d.). *Plataorma Casa Certificada*. Obtido em 26 de 08 de 2011, de <http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/sistemas-de-isolamento-termico>

Águas, M. (2000). *Conforto Térmico - Módulo da Disciplina de Mestrado Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Alison, G., Kwok, B., Nicholas, B. & Rajkovich. (2010). Addressing climate change in comfort standards. *Building and Environment*, 45 , pp. 18-22.

Allard, F. (1998). *Natural Ventilation in Buildings*. London: James & James Ltd.

Amaral, M. (2008). *Sistemas de Ventilação Natural e mistos em edifícios de habitação*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

ASHRAE. (2005). *Fundamentals Handbook*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE. (2004). *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, USA: Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE. (2004). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. *Ansi/ASHRAE Standard 62.1 2004* .

Barros, H. (2009). *Estudo e Avaliação das Componentes Térmicas na utilização de Energia em Edifícios*. Funchal: Universidade da Madeira.

Barroso, L. P. (2010). *Construção Sustentável - Soluções comparativas para o uso eficiente da água nos edifícios de habitação. Tese de Mestrado em Engenharia Civil*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.

Ben-Nakhi, A. (2003). Development of an integrated dynamic thermal bridging assessment environment. *Energy and Buildings*, 35 , pp. 375-382.

Bojic, M., Yic, F. & Sat, P. (2001). Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential building in Hong Kong. *Energy and Buildings*, v. 33 , pp. 569-581.

Bourdeau, L., Houvilla, P., Lating, R. & Gilham, A. (1998). *Sustainable Development and the Future of Construction: A comparison of visions from various countries*. Rotterdam, Holland: CIB Publications.

Chvatal, K., Maldonado, E., & Corvacho, M. (2005a). *Study of the impact of the increase of the thermal insulation of the building envelope upon its thermal performance*. Santorini: In: PALENC – Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment. Proceedings.

Chvatal, K., Maldonado, E., & Corvacho, M. (2005b). *The impact of envelope insulation and ventilation on summer performance*. Santorini: PALENC – Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment.

Conceição, E. (1996). *Estudo Aero-Térmico de Habitáculos de Veículos de Transporte de Passageiros*. Coimbra: Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica, na especialidade de Aerodinâmica, Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Construção sustentável. (s.d.). *Soluções eficientes hoje, a nossa riqueza amanhã*. Obtido de www.construcaosustentavel.pt

Decreto-Lei n.º 80/2006. (2006). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Lisboa: 4 de abril, Diário da República, I Série-A.

Delgado, A., & Santos, P. (s.d.). *Construção Sustentável/ Ciclo de Vida dos Edifícios*. Obtido em 1 de novembro de 2010, de Quercus: <http://construcaosustentavel.quercus.pt/scid/subquercus/defaultarticleViewOne.asp?categorySiteID=145&articleSiteID=223>

DGE. (2002). *Eficiência Energética em Edifícios*. Lisboa: Direção Geral de Energia - Ministério da Economia.

DGEG. (2009). *Estatísticas e balanços energéticos*. Obtido de Direção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgge.pt/>

Djongyang, N., Tchinda, R. & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , pp. 2626-2640.

EDP - Energias de Portugal, S.A. (2006). *Guia prático da Eficiência Energética*. Lisboa: ADENE.

Edwards, S. B. (2003). Construction products and life-cycle thinking. *Sustainable building and construction* , pp. 57-61.

Fanger, P. (1970). *Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.

Fanger, P. (2005). *What is IAQ?* Beijing, China.

Farhanieh, B. & Sattari, S. (2006). Simulation of energy saving in Iranian building using integrative modeling for insulation. *Renewable energy*, v.31 , pp. 417-425.

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Han, J., Zhang, Q., Zhang, G., Zhang, J., Liu, J. & Tian, L. (2007). Field study on occupant's thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. *Building and Environment*, 42 , pp. 4043-4050.

Hensen, J., & Augenbroe, G. (2004). Performance simulation for better building design. *Energy and Buildings*, v.36 , pp. 735-736.

Hensen, J., Lamberts, R., & Negrão, C. (2002). A view of energy and building performance simulation at the start of the third millennium. *Energy and Buildings*, v.34 , pp. 853-855.

Horsens Polytechnic. (2001). *Ecobuild Version 1.0: Fundamentals of Building Physics*. Horsens, Denmark: Horsens Polytechnic.

IPQ. (2002). *Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação*. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1.

Kein, S. A. (1997). *TRNSYS, A Transient Simulation Program*. Madison, USA: Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin.

Kuchen, E. & Fisch, N. (2009). Spot monitoring: thermal confort evaluation in 25 office buildings in winter. *Building and Environment*, 44 , pp. 839-847.

Lin, Z. & Deng, S. (2008). A study on the thermal confort in sleeping environments in the subtropics - developing a thermal confort model for sleeping environments. *Building and Environment* , pp. 70-80.

Matos, C. R. (2009). *O EFEITO DA VENTILAÇÃO NATURAL NA QUALIDADE DO AR INTERIOR E NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS*. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Nakano, J., Tanabe & Kimura, K. (2002). Different in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers. *Energy and Buildings*, 34 , pp. 615-621.

Oliveira, A. (2007). *Avaliação da Qualidade Térmica de Edifícios - Proposta de Indicadores para o Projeto*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do porto.

Piedade, C. d. (2003). *Edifícios para viver melhor*. Lisboa: FUNDEC/IST: Curso: "Construção Sustentável – Estratégias, Projetos e Sistemas de Apoio".

Pinheiro, M. D. (2008). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora: Instituto do Ambiente.

Pinheiro, M. D. (2003). *Construção Sustentável - Mito ou Realidade? VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*. Lisboa.

Portal das Energias Renováveis. (s.d.). Obtido em 29 de 09 de 2011, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=44&ID_area=8&ID_sub_area=26

Portal das Energias Renováveis. (2005-2007). *Eficiência Energética*. Obtido em 04 de 09 de 2011, de <http://www.eficiencia-energetica.com/html/eee/eee.htm>

Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. (outubro de 2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Building* , pp. 1592-1600.

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril.

REA. (2008). *Relatório do Estado do Ambiente 2007*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente.

Santamouris, M., Alvarez, S., Dascalaki, E., Guarracino, G., Maldonado, E., Sciuto, S., et al. (1998). *Natural ventilation in buildings – A design handbook*. . Altener Programme of the European Commission, Directorate General XVII, for Energy: James and James.

Silva, G. (2006). *VOCs in Indoor Air in Several Schools of Porto*. Lisbon, Portugal: 8th Healthy Buildings Conference.

Silva, P. (2006). *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE*. Tese de Mestrado. Universidade do Minho.

Somafre. (s.d.). *Somafre*. Obtido em 18 de 10 de 2010, de Soliterm+ Concrete Systems: www.somafre.pt

Tavares et. al (2010). Thermal performance of residential buildings with large glazing areas temperature climate. *Portugal SB10: Sustainable Buildings Affordable to All: Low Cost Sustainable Solutions* (pp. 647-654). Vilamoura, Algarve: Marçol 17-19.

Teixeira, J., & Couto, A. (2004). Ambiente e construção: impacte dos estaleiros. *Indústria & Ambiente* , 33.