



• C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Reabilitação Térmica da Real República do Bota-Abaixo – Avaliação por Simulação Energética

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

Autor

Filipe Alexandre Ferreira Balão

Orientador

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Júri

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

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

Engenheiro Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas
Assistente Convidado da Universidade de Coimbra

Coimbra, Fevereiro, 2014

“Ká-Trá-Ká”

Grito da Real República do Bota-Abaixo.

A todos aqueles que me são queridos.

Agradecimentos

Longo foi o caminho percorrido para finalizar mais uma etapa da minha vida. Esta tese termina um ciclo. Para dar início a outros que virão. Não posso deixar de agradecer aos meus pais e à minha irmã pela paciência de sempre acreditarem em mim e na conclusão desta etapa.

Na fase final do meu trabalho apareceu na minha vida uma força importante: a Stephanie, que me deu coragem e energia através de todo o seu amor. Obrigado Stephanie!

Agradeço também à Real República do Bota-Abaixo e aos seus Repúblicos, comensais, antigos e actuais por me darem e ensinarem tanta coisa. Uma aprendizagem não escrita em nenhum tomo de nenhuma biblioteca.

Agradeço a todos os que me são queridos.

Agradeço especialmente ao Mário Carvalhal, por me ter ajudado nas medições da República. E ao José Marques por ter feito o desenho da capa.

E agradeço ao meu orientador o Professor Doutor Adélio Gaspar, pela sua ajuda, paciência e compreensão. Nunca me abandonando neste projecto que encontra agora o seu fim.

Um Muito Obrigado!

Resumo

A poupança energética é um dos temas centrais nos dias que correm. O sector de edifícios é em grande parte responsável por elevados consumos de energia, principalmente pela cada vez maior procura de conforto térmico interior. Assim uma maior eficiência térmica nos edifícios torna-se uma questão muito importante.

Os novos edifícios já têm vindo a apresentar soluções que promovem menores gastos com climatização. No entanto os edifícios existentes na sua maioria não contemplam quaisquer soluções nesse sentido, tornando-se essencial requalificá-los nessa área. Os edifícios situados em zonas históricas apresentam um valor histórico, cultural e social enorme, pelo que a sua reabilitação nunca pode passar pela perda de identidade. O centro histórico da alta de Coimbra apresenta uma série de restrições com vista à reabilitação dos seus edifícios. Com base nessas restrições é objectivo deste trabalho estudar a reabilitação térmica de um edifício situado nesse centro histórico, a casa de estudantes Real República do Bota-Abaixo, sem adulterar a sua identidade histórica.

Para tal simulou-se, com recurso à ferramenta de simulação energética, *Ecotect*, os gastos anuais em climatização e número de horas anuais de desconforto antes, e depois de impostas as melhorias propostas: isolamento de coberturas, tectos e pavimentos, melhoria dos envidraçados existentes e controle das taxas de infiltração de ar. Este estudo foi complementado com uma análise recorrendo ao RCCTE.

Como resultado das soluções de reabilitação, verificou-se ser possíveis reduções importantes nos consumos de energia para climatização, assistindo-se a um decréscimo de 77% nas necessidades totais, 85% em aquecimento e 54% em arrefecimento. Essas soluções levaram a que o edifício ficasse em conformidade com o RCCTE.

Em suma, prova-se que é possível os edifícios históricos oferecerem condições dignas de conforto térmico, sem elevados gastos energéticos, mantendo a sua herança histórica, cultural e social.

Palavras-chave: Reabilitação, Edifícios Históricos, Eficiência Térmica de Edifícios, Climatização, Conforto Térmico.

Abstract

Energy saving is one of the central themes these days. The buildings sector is largely responsible for high energy consumption, mainly by increasing demand for indoor thermal comfort. Thus, greater thermal efficiency in buildings becomes a very important issue.

The new buildings have already been presenting solutions that promote reduced spending on air conditioning. However, mostly existing buildings do not include any solutions accordingly, therefore it is essential to revitalize them in this area. The buildings located in historic districts have a historical, cultural and huge social value, so their rehabilitation can never get over the loss of identity. The historical center of Coimbra has a high number of restrictions aimed at the rehabilitation of their buildings. Based on these restrictions, the aim of this work is to study the thermal rehabilitation of a building located in this historical center, a house of students: Real República do Bota-Abaixo, without misrepresenting its historical identity.

To this end, it was simulated, using the energy simulation tool, *Ecotect*, the annual spending on air conditioning and the annual hours of discomfort before and after the proposed improvements imposed: insulating roofs, ceilings and floors, upgrading of existing glazing and control of air infiltration rates. This study was complemented with an analysis using the RCCTE.

As a result of the rehabilitation solutions it was shown that is possible to have important reductions in energy consumptions for air conditioning. It was verified a decrease of 77% in the global needs, 85% in heating and 54% in cooling. These solutions have led the building to be in accordance with the RCCTE.

In resume, it is proved that it is possible historic buildings to offer decent thermal comfort without high energy costs while maintaining their historical, cultural and social heritage.

Keywords Rehabilitation, Historic Buildings, Thermal Efficiency of Buildings, Air Conditioning, Thermal Comfort.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Simbologia e Siglas	xv
Simbologia.....	xv
Siglas	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto Energético	1
1.2. Contexto Arquitectónico.....	2
1.3. Motivação e Objectivos	3
1.4. Estrutura.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Reabilitação Energética de edifícios Históricos	5
2.2. Análise do Desempenho Energético de Edifícios Históricos	6
3. METODOLOGIA DE ANÁLISE	9
3.1. Programas de Simulação.....	9
3.1.1. Programa Utilizado.....	10
3.2. Modelo Físico	12
3.2.1. Geometria do Zonamento	16
3.2.2. Configurações de Estudo	17
3.2.3. Soluções Construtivas e Estratégias de Reabilitação	20
4. RESULTADOS E DISCUSÃO.....	23
4.1. Simulações Considerando Taxa de Infiltração de Ar Constante ao Longo do Ano 23	
4.1.1. Consumos com Climatização	23
4.1.2. Horas de Desconforto	29
4.2. Simulações Considerando Taxa de Infiltração de Ar Variáveis	35
4.2.1. Consumos com climatização	35
4.2.2. Horas de Desconforto	39
4.3. RCCTE.....	43
5. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DA ENVOLVENTE DA REAL REPÚBLICA DO BOTA- ABAIXO	53
ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS, ANTES E DEPOIS DA REABILITAÇÃO	57
Características Antes da Reabilitação.....	57
Características Depois da Reabilitação.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Modelo <i>Ecotect</i> da Real República do Bota-Abaixo.	12
Figura 3.2. Vista <i>xy</i> em <i>Ecotcet</i> da sub-cave.	14
Figura 3.3. Vista <i>xy</i> em <i>Ecotect</i> da cave.	14
Figura 3.4. Vista <i>xy</i> em <i>Ecotect</i> do R/C.	15
Figura 3.5. Vita <i>xy</i> em <i>Ecotect</i> do primeiro andar.	15
Figura 4.1. Consumo com climatização antes e depois da reabilitação.	23
Figura 4.2. Consumo com climatização para as diferentes estratégias de reabilitação.	24
Figura 4.3. Consumo de aquecimento dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.	26
Figura 4.4. Consumo de arrefecimento dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.	26
Figura 4.5. Consumo total de climatização dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.	27
Figura 4.6. Número de horas de desconforto antes e depois da reabilitação.	30
Figura 4.7. Número de horas de desconforto para as diferentes estratégias de reabilitação.	31
Figura 4.8. Número de horas abaixo dos 18°C dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.	32
Figura 4.9. Número de horas acima dos 28°C dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.	32
Figura 4.10. Número de horas de desconforto dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.	33
Figura 4.11. Consumos com climatização das diferentes análises de reabilitação.	36
Figura 4.12. Consumos de aquecimento dos vários pisos das diferentes simulações.	37
Figura 4.13. Consumos de arrefecimento dos vários pisos das diferentes simulações.	38
Figura 4.14. Consumos totais de climatização dos vários pisos das diferentes simulações.	38
Figura 4.15. Número de horas de desconforto das diferentes simulações.	40
Figura 4.16. Número de horas abaixo dos 18°C das diferentes simulações.	41
Figura 4.17. Número de horas acima dos 18°C das diferentes simulações.	41
Figura 4.18. Número de horas totais de desconforto das diferentes simulações.	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Caracterização do Edifício da Real República do Bota-Abaixo.....	13
Tabela 3.2. Ocupação, iluminação, equipamentos e taxas de renovação de ar no edifício original.....	19
Tabela 3.3. Valor de U para as diferentes soluções construtivas antes e depois de alteradas.	21
Tabela 4.1. Valores de U admissíveis, das soluções construtivas originais e das novas soluções construtivas.....	44
Tabela 4.2. Necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, AQS e específicas de energia útil e classe energética da Real República do Bota-Abaixo.	44
Tabela 0.1. Paredes externas da sub-cave.....	53
Tabela 0.2. Envolvente da sub-cave.	53
Tabela 0.3. Paredes externas da cave.	54
Tabela 0.4. Envolvente da cave.	54
Tabela 0.5. Paredes externas do R/C.	55
Tabela 0.6. Envolvente do R/C.....	55
Tabela 0.7. Paredes externas do primeiro piso.	56
Tabela 0.8. Envolvente do primeiro andar.	56

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

Na – Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias máximas [kWh/m².ano]

Nac – Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias [kWh/m².ano]

Ni – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento máximas [kWh/m².ano]

Nic – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento [kWh/m².ano]

Nt – Necessidades nominais globais de energia primária máximas [kgep/m².ano]

Ntc – Necessidades nominais globais de energia primária [kgep/m².ano]

Nv – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento máximas [kWh/m².ano]

Nvc – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [kWh/m².ano]

R – Resistência térmica superficial [m².°C/W]

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial [W/m².°C]

λ – Condutibilidade Térmica [W/m.°C]

Siglas

ADENE – Agência para a Energia

CHC – Centro Histórico de Coimbra

CMC – Câmara Municipal de Coimbra

PTP – Ponte Térmica Plana

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto Energético

Em 1987 aparece o primeiro conceito de desenvolvimento sustentável através do Relatório Brundtland, que define desenvolvimento sustentável como aquele que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.” (Brundtland apud Ganhão e Amado, 2012) Um desenvolvimento desmedido sem ter em conta a factura ambiental nos ecossistemas revela-se um problema a solucionar. Uma vasta utilização de recursos energéticos tem impactos negativos no meio ambiente, pois a maior parte da produção energética é feita com recurso a combustíveis fósseis, que não são renováveis e que na sua transformação libertam gases que provocam o chamado efeito de estufa, que por sua vez é responsável por alterações climáticas.

O sector de edifícios é responsável por cerca de 25 % do consumo de energia no mundo, mas nas grandes cidades aproxima-se dos 40% (Ganhão e Amado, 2012). Em Portugal, país que importa cerca de 77% da energia que consome, os edifícios residenciais são responsáveis por cerca de 16,6 % de consumo de energia e os não residenciais por cerca de 11,4 % (ADENE, 2012). Uma das causas para o aumento do consumo energético em edifícios, nos dias de hoje, prende-se com o facto de uma maior qualidade de vida, que procura índices mais elevados de conforto e serviços, nomeadamente no que toca à questão do conforto térmico dentro dos edifícios. É por isso claro que uma redução no consumo de energia nesse sector torna-se fundamental. “Através de uma utilização responsável podemos usufruir de uma maior diversidade de serviços e conforto, sem ter necessariamente que aumentar o consumo.” (ADENE, 2012).

As preocupações energéticas crescentes levaram ao aparecimento de legislação no âmbito da certificação energética de edifícios. Na Europa generalizou-se desde 2007 a obrigatoriedade dessa certificação (ADENE, 2012). Em Portugal foram publicados em 2006 os seguintes decretos-lei nessa área: Decreto-Lei 78/2006 – Sistema Nacional de Certificação Energética e Da Qualidade do Ar (SCE), Decreto-Lei 79/2006 – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) e Decreto-Lei 80/2006 –

Regulamento Das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). Recentemente foi publicado o Decreto-Lei 118/2013 que aglomera num único diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Esta legislação visa promover e melhorar o desempenho energético e ambiental do parque edificado, sendo uma ferramenta que incentiva a redução de necessidades energéticas de edifícios tendo em conta o conforto térmico dos ocupantes.

1.2. Contexto Arquitectónico

No caso de edifícios a construir é possível, na sua fase de concepção, dotá-los de estratégias bioclimáticas para que o seu consumo energético seja menor. Estratégias como uma correcta orientação de vãos envidraçados, átrios e pátios permitem uma poupança no aquecimento, assim como o uso de sombreamentos e persianas possibilitam uma poupança no arrefecimento. Muito importante será sempre a utilização de isolamento térmico na envolvente exterior. No caso de edifícios já existentes é sempre possível promover alterações a nível arquitectónico que possibilitem um melhor desempenho em termos energéticos. Mas em edifícios situados em centros históricos essas alterações podem significar a perda de identidade dos mesmos (ADENE, 2012). Torna-se então importante perceber que soluções se podem adoptar para que estes edifícios possam oferecer condições de conforto térmico, sem pôr em causa uma utilização eficiente de energia e sem adulterar a sua arquitectura.

A reabilitação de zonas urbanas degradadas é um factor fundamental para a política de ordenamento do território, pois para além de preservar as zonas históricas, que possuem uma relevância histórica, cultural e social enorme, ainda possibilita a sustentabilidade de um recurso tão importante e escasso como o solo (Edital N° 278/2002).

O Centro Histórico de Coimbra, situado na Alta de Coimbra, possui a estrutura edificada mais antiga de Coimbra, mais de metade dos seus edifícios são anteriores a 1919. Os traços que caracterizam os edifícios situados nessa zona da cidade são, de grosso modo, a sua alvenaria ordinária de calcário, as suas paredes exteriores com espessuras elevadas, superiores a 0,40 m, janelas de vidro simples e portas em madeira (CMC, 2012).

Em termos de conservação, cerca de 27 % dos edifícios encontra-se em bom estado, 40 % num estado razoável e 27% em mau estado (CMC, 2012). Torna-se portanto indispensável a reabilitação desta zona tão importante da cidade. Para esse fim a Câmara Municipal de Coimbra lançou em 2002 o Edital N° 278/2002 – Regulamento Municipal de Edificação, Recuperação de Reconversão Urbanística da Área Crítica do Centro Histórico da Cidade de Coimbra (CHC).

1.3. Motivação e Objectivos

O edital acima referido, em nada se refere a cuidados a ter na reabilitação com vista a um maior desempenho em termos energéticos do edificado. Apenas impõe uma série de limitações arquitectónicas importantes para manter as características do CHC. Também o RCCTE não se aplica a edifícios situados em centros históricos. Mas se verdadeiramente se quer reabilitar e reocupar o centro histórico de Coimbra, deve-se ter em conta a vertente de conforto dos ocupantes e desempenho térmico. Assim o objectivo desta dissertação é pegar num caso particular de uma habitação situada no centro histórico de Coimbra, a casa de estudantes Real República do Bota-Abaixo, e através do uso de um programa de simulação energética verificar as suas condições térmicas, antes e depois da implementação de uma série de medidas com vista à sua reabilitação térmica dentro dos limites impostos pela CMC. Pretende-se fazer também uma análise através do RCCTE, antes e depois, para averiguar se o edifício cumpre os requisitos que esse decreto-lei impõe. Pretende-se comparar os resultados obtidos, analisando as poupanças energéticas e o grau de conforto térmico que a reabilitação atinge. Com esta dissertação espera-se conseguir provar que a eficiência energética em edifícios e o seu grau de conforto é compatível com a manutenção da sua herança histórica, cultural e social.

1.4. Estrutura

Esta dissertação começa com um levantamento bibliográfico de alguns estudos efectuados nesta área, para perceber qual a melhor forma de analisar o problema proposto e o resolver. Seguidamente é exposto o método utilizado durante a análise energética do edifício, frisando as ferramentas utilizadas durante esse processo, nomeadamente os programas de simulação energética de edifícios. Descreve-se o modelo físico alvo do

estudo, e os parâmetros que influenciam o seu comportamento em termos de gastos energéticos e de conforto térmico, tais como geometria, localização, constituintes da sua envolvente, tipologia de uso, iluminação, ocupação e tipo de ventilação. Depois enuncia-se as estratégias que podem ter um impacto significativo na melhoria da eficiência energética do edifício em estudo, e no seu conforto térmico interior, sem pôr em causa a descaracterização do edifício histórico. Após isso são apresentados os resultados das simulações efectuadas de forma a mostrar a influência das estratégias aplicadas com vista à reabilitação teórica. Esses resultados são obtidos com recurso a um programa de simulação energética, o *Ecotect*, e compreendem dois tipos: consumos anuais com climatização e número de horas anuais de desconforto. É também efectuada a verificação do RCCTE para averiguar a mudança de classe energética do edifício depois da referida reabilitação, e se o edifício está em conformidade com o RCCTE. No final são apresentadas as conclusões que se podem retirar no término da análise proposta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Reabilitação Energética de edifícios Históricos

O tema central desta tese já é debatido há muito nos nossos dias. Na Suécia, por exemplo, a sua agência de energia: *The Swedish Energy Agency* tem um programa de investigação: *National Research Program for Energy Efficiency in Historic Buildings* que promove a sustentabilidade e preservação de edifícios históricos. A Universidade Sueca de Gotland como coordenadora desse programa organizou em 2011 uma conferência: *Energy Efficiency in Historic Buildings*, onde foram apresentados diversos artigos sobre o tema. Num desses artigos (Grytli, 2011) é mencionado que é possível reduzir em 61 % a energia em processos de climatização, utilizando 4 passos simples na reabilitação de edifícios, são eles: isolar as correntes de ar, o isolamento de tectos e pisos, uma melhoria dos vãos envidraçados e uma gestão da temperatura do edifício. Essa informação torna-se muito relevante se se tiver em conta que no edital N° 278/2002 da CMC as limitações numa reabilitação no CHC são de grosso modo as seguintes:

- As janelas, portas e outros vãos devem manter e preservar as características, sempre que possível, reportadas à época de construção, designadamente o tipo de materiais. O tipo de orlas existentes, se substituídas deve manter o tipo de material, a forma e a cor, sempre que possível. As portadas interiores de madeira devem ser mantidas como sistema de ensombramento.
- Não é permitida a alteração das características das varandas da época da construção do imóvel. Não é permitida a alteração de caixilharias de madeiras por outras em alumínio e/ou pvc.
- Nas coberturas, os telhados têm de manter, se possível, a forma, o volume e a aparência do telhado primitivo. As clarabóias também devem manter as suas características primitivas.
- Nos revestimentos, a mudança de reboco nas fachadas deve ser feita de forma a recuperar a aparência original do edifício. As pinturas exteriores devem manter a cor original.

Em Portugal também vão sendo realizados estudos nesta área. O estudo de Araújo e Almeida (2006) conclui que a aplicação de rochas, tradicionalmente utilizadas na construção em Portugal, é possível na execução de edifícios solares passivos, podendo os mesmos apresentar comportamentos muito interessantes em termos do seu conforto interno. Demonstra ainda que a elevada inércia térmica das rochas é um factor positivo na manutenção desse mesmo conforto e na poupança de energia nos edifícios. Este estudo refere que o granito é das rochas de construção naturais, aquele que apresenta melhores características térmicas, mas o calcário, rocha que é a componente principal das alvenarias dos edifícios do CHC, nomeadamente o do edifício alvo desta tese, não apresenta desvantagens significativas na manutenção de um bom conforto térmico dentro de edifícios de elevada inércia térmica.

Também o LNEC lançou em 2009 o ITE 54, dando um contributo para esta matéria em Portugal, onde se pode consultar coeficientes de transmissão térmica dos vários componentes de edifícios antigos padrão de Portugal. O que é uma ajuda importante quando se quer realizar estudos sobre reabilitação energética de edifícios antigos, onde nem sempre é fácil aferir com precisão os materiais que os compõem, nem as suas características térmicas fundamentais.

2.2. Análise do Desempenho Energético de Edifícios Históricos

Na análise do desempenho energético de edifícios é necessário compreender que tipo de avaliação é preciso ter em conta. Antes de avaliar os resultados é necessário saber que dados dão entrada para a análise do edifício. No artigo de Ganhão e Amado (2012) esses dados para uma simulação energética são: a sua localização, a sua orientação solar, a sua geometria, os materiais de construção e soluções construtivas, as zonas térmicas definidas, a ventilação, se possui sistema de climatização e qual o seu tipo, o intervalo de temperaturas de conforto e um ficheiro contendo informação sobre o clima e temperaturas exteriores da localização do edifício. Nesse caso de estudo considerou-se o uso de equipamento de climatização ficcionado, com uma eficiência de 100%, de forma a calcular as cargas térmicas, as necessidades de aquecimento e as necessidades de arrefecimento no intervalo de temperaturas de conforto pretendidas.

Nas variáveis inseridas, a informação sobre os materiais utilizados e soluções construtivas permitem chegar a uma informação muito importante em simulação energética de edifícios: o coeficiente de transmissão térmica, U , que é calculado com base nas resistências térmicas superficiais e resistências térmicas dos materiais:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} W/m^2 \cdot ^\circ C \quad (2.1)$$

Em que a resistência térmica é calculada com base na sua espessura e condutibilidade térmica:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} m^2 \cdot ^\circ C/W \quad (2.2)$$

Em edifícios antigos o cálculo de U torna-se mais complicado, pois os materiais usados por vezes são só parcialmente conhecidos, pelo que é necessário alguma flexibilidade nesse cálculo (Widstrom e Mattson,2011).

Na escolha da temperatura de conforto é preciso ter noção de conforto térmico. O conforto térmico é um conceito muito complexo que é caracterizado por numerosos parâmetros devidos à natureza humana. A norma internacional ISO 7730:2005 define conforto térmico como a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico. Existem alguns indicadores que asseguram esse grau de satisfação. O PMV (*predicted mean vote*) prevê a sensação termal em função da actividade, vestuário, temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade. O PPD (*predicted percentage dissatisfied*) é definido através do PMV (Martín et al.,2010). Em Portugal a legislação em vigor apenas especifica que a temperatura interior deve estar situada num intervalo de 20°C a 25°C sendo a humidade relativa de 50% no Verão. Também estipula uma taxa de renovação de ar mínima dependendo da tipologia do edifício (Alexandre, 2012).

Na geometria de um edifício histórico, para a sua simulação, tem de se ter em conta a sua geometria atípica e incerta, tendo que se recorrer muitas vezes a simplificações. As simplificações e a flexibilidade têm de estar presentes em toda a simulação, visto que outras variáveis de entrada, tal como a ventilação, também são incertas e só parcialmente conhecidas (Widstrom e Mattson,2011).

No exemplo dado no artigo de Ganhão e Amado (2012) fez-se uma simulação num edifício já existente, retirando-se os dados supracitados que posteriormente foram comparados com os dados de uma simulação do mesmo edifício mas com alterações que

visam melhorar o comportamento térmico do edifício. Esse tipo de avaliação torna-se bastante útil pois apenas precisa do uso de uma ferramenta de simulação que possa calcular os ganhos internos, as necessidades de aquecimento e as necessidades de arrefecimento.

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

3.1. Programas de Simulação

Para a realização do estudo proposto, é necessário recorrer a uma ferramenta essencial: o programa de simulação energética.

Existem actualmente uma série de programas que permitam fazer a simulação dinâmica de edifícios. Esses programas possibilitam que sejam simuladas simultaneamente diversas zonas do edifício, obtendo dados como os ganhos internos, necessidades de aquecimento e arrefecimento e temperaturas internas (Gomes, 2012).

No plano nacional existem programas como:

- O *RCCTE-STE*, programa desenvolvido pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação que tem como função base verificar o RCCTE e o RSECE.
- O *Cypeterm*, programa desenvolvido para dar resposta ao projecto de verificação das características de comportamento térmico dos edifícios de acordo com o RCCTE.

Para além destes programas existem outros desenvolvidos fora de Portugal:

- O *EnergyPlus*, programa desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA, apresenta muitas capacidades de simulação pois permite obter: temperaturas do ar interior, humidade relativa, índices de conforto, transmissão de calor através das envolventes, cargas de aquecimento e arrefecimento. Todos estes dados podem ser disponibilizados em diversos períodos de tempo. O *EnergyPlus* é um motor de simulação de aspecto pouco interactivo, que pode ser utilizado em conjunto com uma interface gráfica 3D para facilitar a parametrização. Uma das interfaces mais utilizadas é o *DesignBuilder*.
- O *Trane Air Conditioning Economics, Trace 700*, que possibilita a análise das cargas térmicas e sistemas de climatização do ponto de vista energético e económico.
- O *TRaNsient SYtem Simulation Program (TRNSYS)*, programa desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin-Madison dos EUA, é

um programa bastante versátil, que permite a simulação de um edifício e vários sistemas associados, como sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, distribuição de água quente, sistemas de recolha de energia solar entre outros.

- O *Carrier Hourly Analysis Program (HAP)*, programa que permite o dimensionamento de sistemas de ar condicionado, de aquecimento e ventilação e possibilita a simulação do desempenho energético de um edifício calculando o consumo de energia e o respectivo custo.
- O *DOE-2.1e*, programa que permite a simulação energética horária do edifício, calculando as cargas térmicas horárias de aquecimento e arrefecimento, dimensionando as potências de aquecimento e arrefecimento, analisando também o consumo de energia em edifícios. O *VisualDOE* é uma interface gráfica do *DOE-2.1e* que possibilita mais facilmente a criação de um modelo, permitindo uma visualização imediata do modelo.
- O *Environmental System Performance Research*, é um programa desenvolvido pela *Energy System Research Unit* da Universidade de *Strathclyde*, que procura a simulação de um modelo o mais próximo possível das condições reais, analisando o consumo energético, o conforto térmico dos ocupantes, qualidade de ar e controle de sistemas. Simulando as transferências de calor e humidade, caudais de ar, iluminação, sistemas de controlo e uma série de tecnologias energéticas convencionais e renováveis. É um programa que necessita de computadores com grande capacidade de cálculo e de armazenamento de dados, apresentando a desvantagem de ser concebido para o sistema operativo UNIX. É na sua essência uma ferramenta vocacionada para o ensino e investigação.

Nesta tese a ferramenta utilizada será o *Autodesk Ecotect Analysis*.

3.1.1. Programa Utilizado

O *Autodesk Ecotect Analysis* é um programa de simulação energética que permite uma abordagem simples em 3D. Possibilita uma análise multizona de ganhos térmicos, necessidades de aquecimento e arrefecimento, temperaturas interiores e índices de conforto térmico. Para esses cálculos o *Ecotect* utiliza o *Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE) Admittance Method (Autodesk, 2010)*, que é um método simples baseado num ciclo de 24 horas. A precisão deste método não é a mais elevada, mas

é impossível a obtenção de uma precisão absoluta em qualquer simulação independentemente da ferramenta utilizada.

O *Ecotect* é um programa bastante intuitivo e de fácil manejo, porque permite a criação de zonas térmicas, geralmente uma divisão do edifício, quartos, salas, etc., de forma simples, através da criação de blocos geométricos. Nessas zonas insere-se facilmente a informação relativa à sua envolvente, tipo de alvenaria, de chão, tecto, laje, janelas, portas, etc.. Possui uma base de dados com vários materiais já com as suas propriedades térmicas, sendo possível criar novos materiais. Essas zonas térmicas são agrupadas formando o edifício que se pretende estudar. A análise térmica é depois feita com base nos dados da envolvente, horários de funcionamento, iluminação, equipamento, infiltração, orientação solar e dados climatéricos da localização do modelo em estudo.

Existem limitações no programa para além do método de cálculo. O programa apesar de contemplar a espessura da envolvente no cálculo, ela não é visível nem contabilizada no modelo 3D, o que no caso de paredes muito espessas influencia bastante a diferença entre o real e o modelo. Não é um programa vocacionado para o estudo de sistemas de climatização e ventilação pois as opções nesses campos são reduzidas e muito básicas. No entanto como é um programa de fácil manuseamento e não é objectivo da análise proposta implementar qualquer tipo de ventilação mecânica, ou um sistema centralizado de climatização, o programa serve como ferramenta básica desta análise.

3.2. Modelo Físico

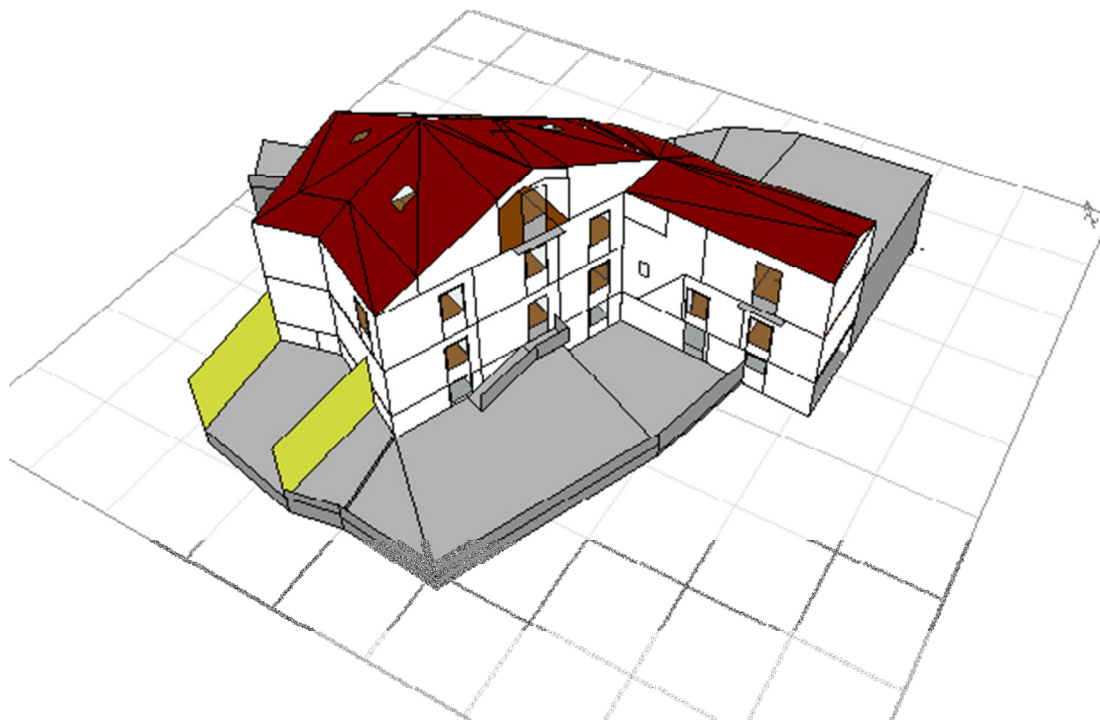


Figura 3.1. Modelo *Ecotect* da Real República do Bota-Abaixo.

O modelo físico, a simular, objecto desta dissertação é o edifício onde se encontra situada a Real República do Bota-Abaixo. Trata-se de um imóvel antigo típico da alta de Coimbra, com paredes de alvenaria ordinária de calcário de elevada inércia, com janelas de vidro simples e portas em madeira.

O edifício possui quatro pisos: primeiro andar, rés-do-chão, cave e sub-cave. Os três pisos superiores são quase na sua totalidade habitados. No piso mais inferior as divisões servem quase todas de arrumos, onde apenas duas divisões são habitadas. A área bruta de pavimento é de 563,713 m² sendo que 441,97 m² são considerados área a climatizar devido à sua ocupação quase permanente. Na tabela 3.1 encontra-se a caracterização dos espaços do edifício. Nas figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 pode-se observar essas zonas através de uma vista *xy* retirada do programa *Ecotect*.

Tabela 3.1. Caracterização do Edifício da Real República do Bota-Abaixo.

Piso	Zona	Descrição	Área [m ²]	Pé Direito [m]	Orientações Principais
-2	1	Arrumos	18,31	2,05	SW
-2	2	Arrumos	15,87	2,05	SE
-2	3	Arrumos	13,30	2,05	-
-2	4	Arrumos	13,41	2,05	W
-2	5	Arrumos	2,31	2,05	W e S
-2	6	Circulação	15,10	2,05	W
-2	7	Arrumos	6,09	2,05	-
-2	8	Arrumos	7,86	2,05	S
-2	9	Quarto individual	21,40	2,05	SW e SE
-2	10	Sala	13,16	2,05	SE
-2	11	Arrumos	10,40	2,05	-
-2	12	Arrumos	14,06	2,05	SW
-2	13	Arrumos	5,14	2,05	-
-1	14	Quarto individual	13,59	2,7	E e SW
-1	15	Quarto individual	10,27	2,7	SW
-1 / 0	16	Circulação	4,45	2,7	SW
-1	17	Circulação	5,97	2,7	NE
-1	18	Quarto individual	13,09	2,7	SE
-1	19	Biblioteca	19,74	2,7	SE
-1	20	Despensa	18,23	2,7	W e S
-2 / -1	21	Circulação	8,63	2,5	-
-1	22	Arrumos	2,33	2,7	-
-1	23	I.S.	10,97	2,7	N
-1	24	Quarto Triplo	13,4	2,7	N e W
-1	25	Arrumos	4,66	2,7	-
-1	26	Circulação	20,06	2,7	SE
-1	27	Circulação	5,57	2,7	-
-1	28	Arrumos	1,99	1,35	SW
-1	29	Circulação	12,86	2,7	N
0	30	Sala de Estar	20,24	3	SW e E
0	31	Sala de Telefone	3,59	3	NE
0	32	Circulação	5,26	3	-
0	33	Biblioteca	18,18	3	SW e SE
0	34	Cozinha	24,52	3	S e W
0	35	Despensa	8,25	3	N e W
0	36	Circulação	2,39	3	-
0	37	Despensa	7,95	3	N
0	38	I.S.	8,49	3	N
0	39	Circulação	11,49	3	-
0	40	Circulação	10,74	3	N e NE
0	41	Quarto individual	14,14	3	SE
0	42	Quarto individual	13,53	3	SE
0	43	Circulação	1,69	3	N
0	44	Arrumos	1,73	1,31	-
1	45	Quarto individual	17,76	2,03	SE
1	46	Quarto individual	20,41	1,58	SE
1	47	Quarto individual	28,61	1,51	-
0/1	48	Circulação	6,33	2,15	N
1	49	Circulação	4,81	2,35	-
1	50	Quarto individual	11,4	2,54	SE

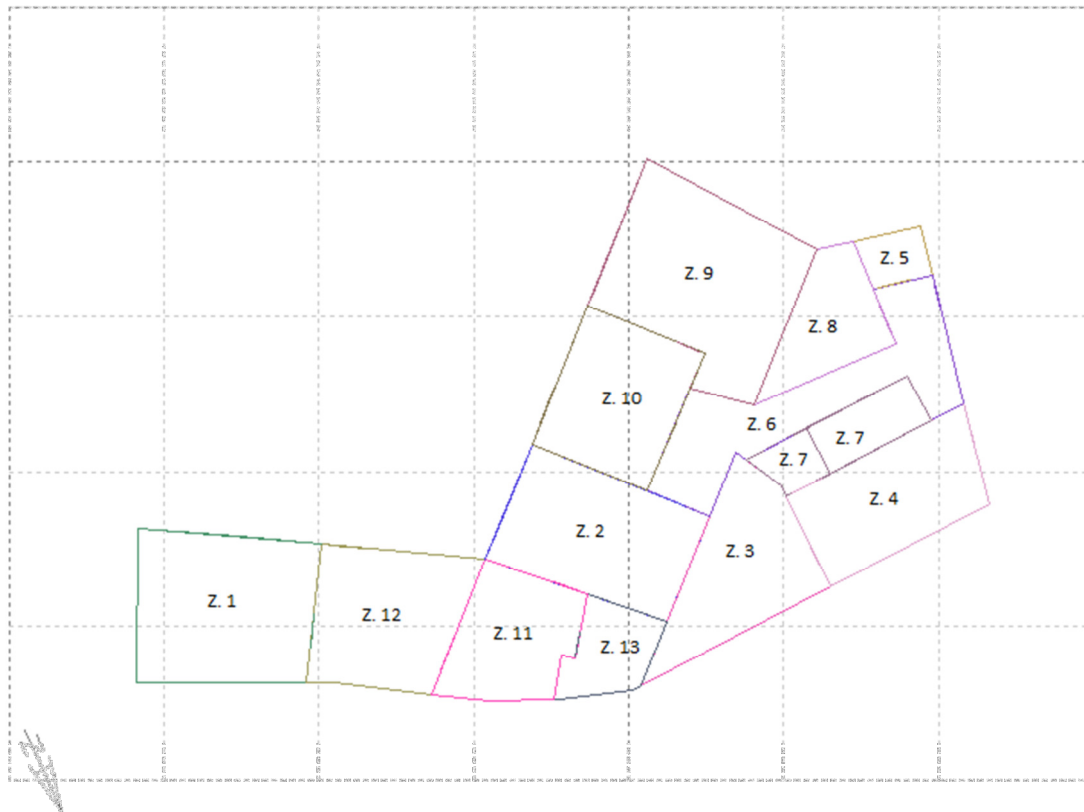


Figura 3.2. Vista xy em Ecotcet da sub-cave.

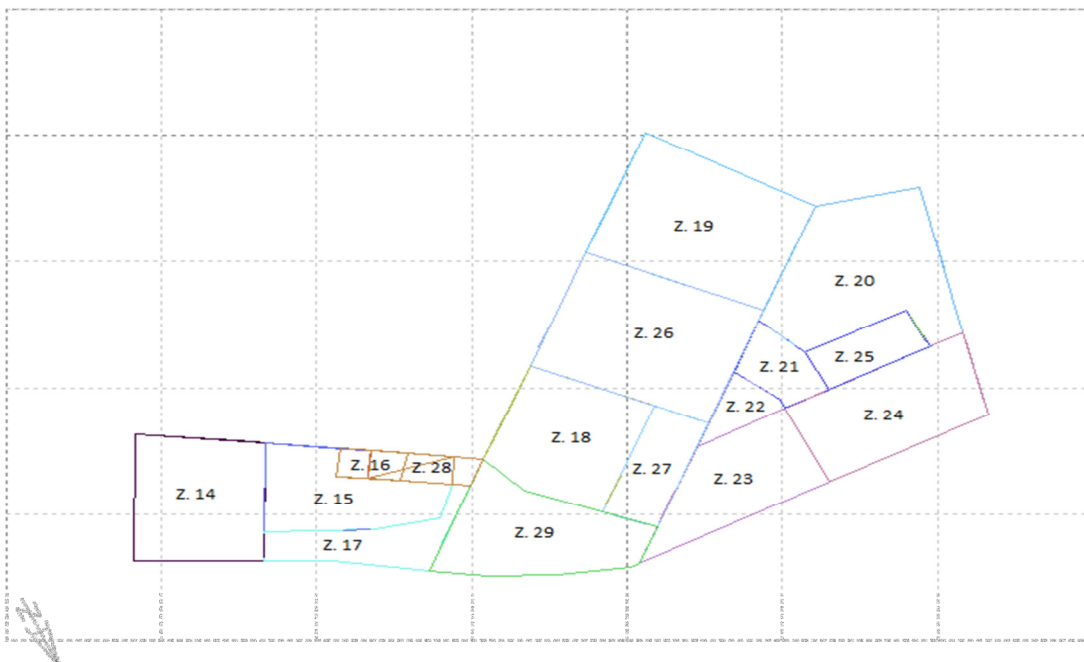


Figura 3.3. Vista xy em Ecotect da cave.

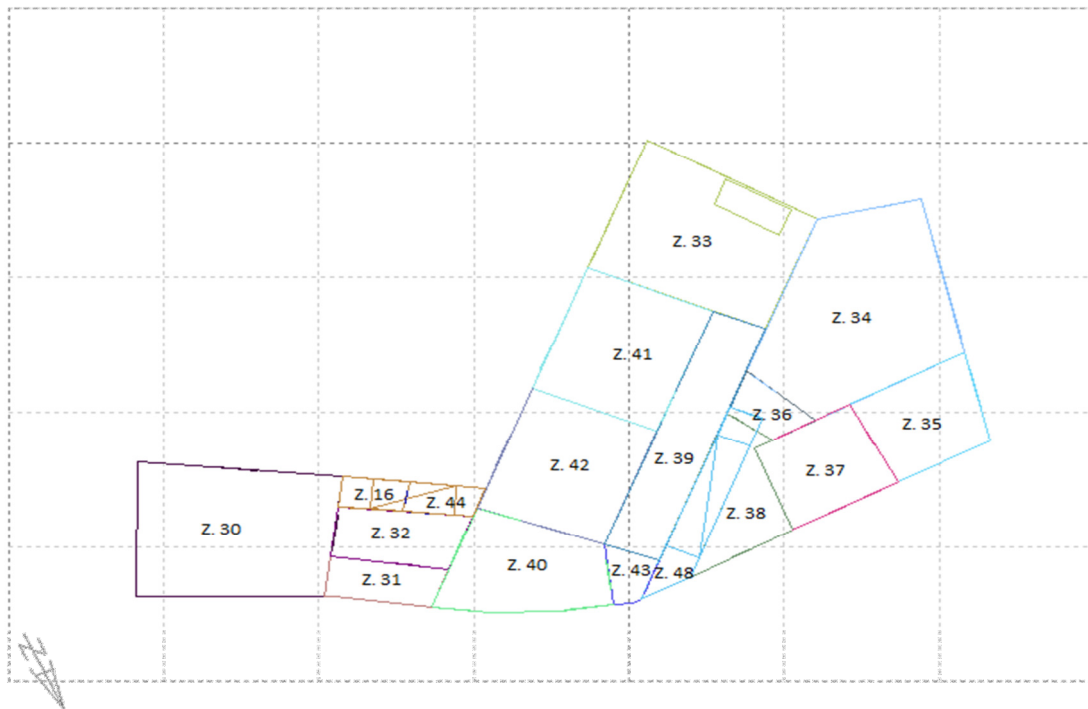


Figura 3.4. Vista xy em Ecotect do R/C.

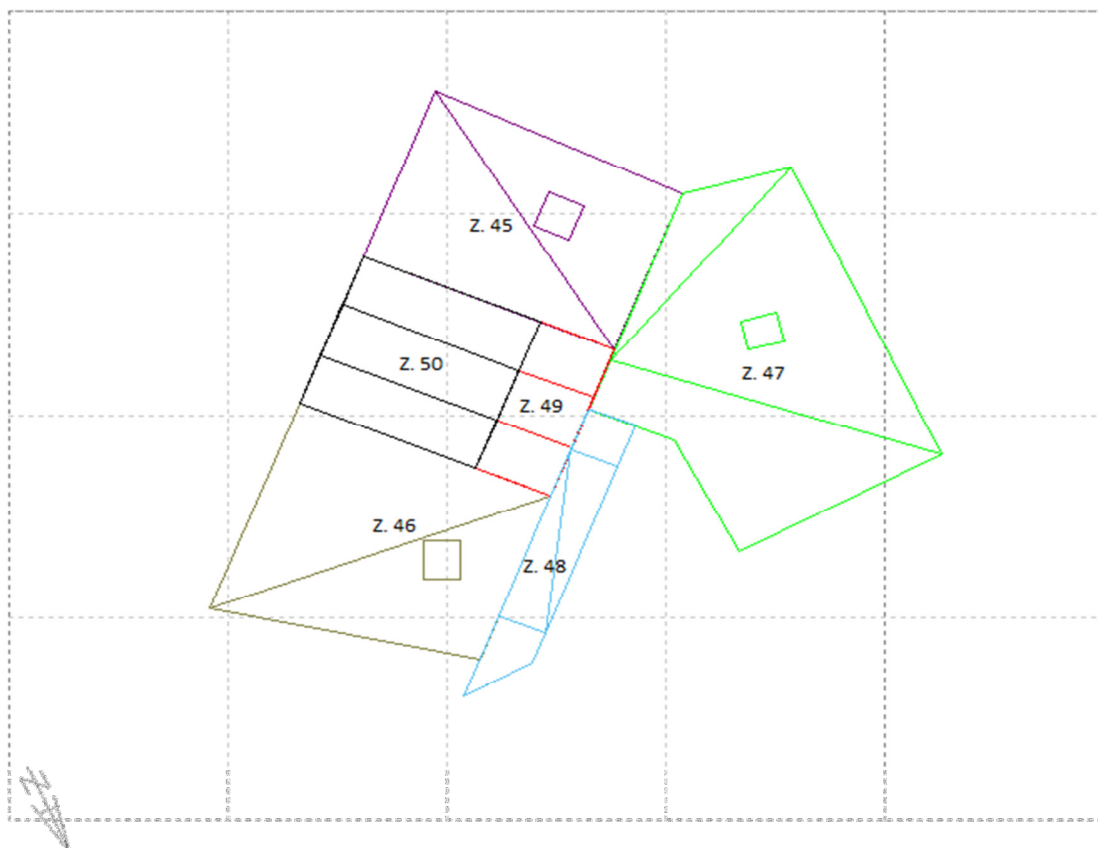


Figura 3.5. Vista xy em Ecotect do primeiro andar.

3.2.1. Geometria do Zonamento

Para a realização de uma simulação de comportamento térmico de edifícios é necessário desagregar o edifício em várias zonas térmicas. Essas zonas podem ser compostas por vários espaços desde que possuam características semelhantes, como ocupação, utilização, climatização, ventilação e propriedades da envolvente exterior. No caso desta simulação optou-se por fazer de cada espaço uma zona térmica. Essa opção tomou-se possível devido às características do programa usado, que ao desenhar um espaço o transforma imediatamente numa zona térmica. Outro dos factores que levou a essa decisão foi a geometria bastante acidentada do edifício em estudo, tornando-se mais favorável uma divisão em zonas mais detalhadas para uma melhor compreensão do edifício no seu todo.

No Anexo A pode-se analisar as características da envolvente do edifício através das características da envolvente das suas zonas, que já se encontram representadas nas figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5. Nas tabelas desse anexo está indicado se a zona é ou não climatizada, a orientação e a área das suas paredes exteriores, a área de parede e pavimento em contacto com o terreno, a área de paredes interiores, janelas, portas, tectos e pavimentos em contacto com zonas não climatizadas, a orientação e área de janelas e portas exteriores, e a orientação e a área das suas pontes térmicas planas. As pontes térmicas planas nesta habitação são pequenas áreas de parede por debaixo de algumas janelas que têm menor espessura que o resto da parede, típico de casas antigas com paredes de grande espessura.

Como se analisa nas tabelas do Anexo A, a sub-cave encontra-se parcialmente enterrada, não tendo qualquer tipo de cobertura exterior, encontrando-se delimitada superiormente pelo piso seguinte e inferiormente com o solo. Possui apenas duas zonas úteis, que apresentam paredes exteriores, paredes em contacto com o solo e paredes em contacto com zonas não úteis. Nessas duas zonas existem envidraçados.

A cave, tal como a sub-cave, encontra-se parcialmente enterrada, não possuindo também coberturas externas, é delimitada superiormente pelo rés-do-chão, e delimitada inferiormente pelo piso -2. O que provoca que grande parte do piso esteja em contacto, com zonas não úteis, através do seu pavimento. Todas as zonas deste andar são consideradas úteis, e as que possuem paredes exteriores possuem envidraçados.

No caso do rés-do-chão já não existem paredes em contacto com o solo. Tem como fronteira inferior o piso de baixo, e como superior o andar de cima e desvãos fortemente ventilados, que mais não são que os espaços formados entre este andar e o telhado. Todas as suas zonas são úteis, e apenas uma zona com parede externa não possui envidraçados.

O primeiro andar, as águas-furtadas da casa, é o único que apresenta coberturas exteriores, que representam grande parte da área em contacto com o exterior. Onde não existe cobertura exterior, existem tectos em contacto com desvãos fortemente ventilados. O pavimento encontra-se em contacto com o rés-do-chão. Para além das paredes exteriores, existem paredes em contacto com espaços não úteis: os desvãos atrás mencionados. Neste piso também todas as zonas são úteis, possuindo apenas uma zona com envidraçados verticais, havendo clarabóias em três zonas.

3.2.2. Configurações de Estudo

Para se fazer a simulação é necessário definir de uma forma minimamente realista o tipo de uso do edifício e os seus padrões de utilização em cada zona. Fez-se assim, recorrendo à realidade da Real República do Bota-Abaixo, o levantamento da sua ocupação, iluminação, equipamentos e os seus perfis de utilização.

A República é habitada por 8 pessoas, mas como se trata de uma casa comunitária com especificidades muito próprias, certas zonas possuem uma ocupação acima das 8 pessoas, como são o caso da cozinha e da sala. Os quartos são na sua maioria individuais, tirando um quarto de hóspedes que é um quarto triplo.

No programa utilizado as potências de iluminação e equipamento são inseridas no mesmo campo, mas existe a possibilidade de inserir nas zonas térmicas objectos que se comportam como equipamentos, pelo que foi essa a solução encontrada para inserir de uma forma independente os equipamentos mais importantes das zonas, como computadores e utensílios domésticos. De notar também que no campo iluminação e equipamentos, apenas se pode inserir o valor em W/m^2 , por isso zonas de uso idêntico podem apresentar valores diferentes, pois o levantamento fez-se com base nas potências de iluminação que se encontram em cada zona independentemente da sua área de pavimento.

Para os perfis de funcionamento, ocupação, iluminação e equipamentos, nas zonas que tem a mesma função utilizaram-se os mesmos horários, caso dos quartos,

instalações sanitárias e das zonas de circulação. Para zonas mais específicas fizeram-se horários para cada uma delas, como é o caso das salas, cozinha e biblioteca.

Como parte do estudo é uma simples comparação de consumos anuais com climatização antes e depois da reabilitação térmica da casa, opta-se por não dar grande ênfase aos sistemas de climatização, o que também não é possível pois o *Ecotect* não dispõe de grande versatilidade nessa área. Considera-se por isso que na climatização das zonas utiliza-se um equipamento fictício de aquecimento e de arrefecimento com 100% de eficiência para uma ocupação permanente. As temperaturas interiores que se utilizam são de 20°C a 25°C, sendo que no programa utilizado estas temperaturas funcionam como um intervalo de conforto independentemente de se estar em aquecimento ou arrefecimento.

No cálculo de horas de desconforto anuais consideram-se simulações sem equipamentos de climatização, e alarga-se o intervalo de temperaturas, passando este a ser entre os 18°C e os 28°C. Este tipo de simulação serve para compreender os efeitos da reabilitação no conforto térmico dos ocupantes independentemente de sistemas de climatização.

Na ventilação opta-se pela não existência de ventilação mecânica, uma vez que ela não existe originalmente no edifício. Como o imóvel se encontra em más condições, a taxa de infiltração de ar pelas janelas e outras áreas vulneráveis é bastante significativa. Por isso ao entrar-se com esse parâmetro na ferramenta de simulação o seu valor vai ser bastante elevado nas zonas mais expostas. O programa tem taxas de infiltração pré-definidas, usando-se as mais adequadas a cada zona através de uma análise empírica. Depois da reabilitação, e assumindo que o edifício se encontra em conformidade com a norma NP 1037-1, a taxa de renovação de ar em todas as zonas é de 0,6 h⁻¹ segundo o RCCTE.

Na tabela 3.2 encontram-se os valores das densidades máximas de ocupação, iluminação, equipamentos e taxas de renovação de ar.

Tabela 3.2. Ocupação, iluminação, equipamentos e taxas de renovação de ar no edifício original.

Descrição		Ocupação	Iluminação e Equipamentos	Equipamentos adicionais	Renovação de ar
Piso	Zona	Ocupantes	W/m ²	W	h ⁻¹
-2	1	0	0	0	1,00
-2	2	0	0	0	1,00
-2	3	0	0	0	1,00
-2	4	0	0	0	2,00
-2	5	0	0	0	1,00
-2	6	1	0,93	0	1,00
-2	7	0	0	0	1,00
-2	8	0	0	0	1,00
-2	9	1	1,31	0	1,00
-2	10	1	2,13	0	1,00
-2	11	0	0	0	1,00
-2	12	0	0	0	2,00
-2	13	0	0	0	1,00
-1	14	1	2,06	160	1,00
-1	15	1	2,73	160	1,00
-1/0	16	1	4,05	0	2,00
-1	17	1	2,35	0	1,00
-1	18	1	2,14	160	1,00
-1	19	4	4,56	160	2,00
-1	20	1	0,99	0	2,00
-2/-1	21	1	2,09	0	1,00
-1	22	0	0	0	1,00
-1	23	1	1,28	0	1,00
-1	24	3	2,09	0	1,00
-1	25	0	0	0	1,00
-1	26	1	0,70	0	1,00
-1	27	1	2,51	0	1,00
-1	28	0	0	0	1,00
-1	29	1	1,09	0	1,00
0	30	10	2,08	320	1,00
0	31	1	7,72	0	2,00
0	32	1	2,66	0	1,00
0	33	4	2,31	0	1,00
0	34	13	6,71	0	1,00
0	35	1	1,70	0	1,00
0	36	1	5,86	0	1,00
0	37	1	6,76	0	1,00
0	38	1	1,65	216	1,00
0	39	1	1,22	0	1,00
0	40	1	1,30	0	1,00
0	41	1	1,98	160	1,00
0	42	1	2,07	160	1,00
0	43	1	0	0	1,00
0	44	0	0	0	2,00
1	45	1	1,58	160	1,00
1	46	1	1,37	160	1,00
1	47	1	1,47	160	1,00
0/1	48	1	2,21	0	2,00
1	49	1	2,91	0	1,00
1	50	1	2,46	160	1,00

3.2.3. Soluções Construtivas e Estratégias de Reabilitação

Para se fazer o levantamento das soluções construtivas conta-se com a ajuda do ITE-50, do ITE-54, e do *Ecotect* para a definição dos elementos construtivos, utilizando-se a base de dados da ferramenta e alterando certos valores para estarem mais em conformidade com os dados fornecidos pelo ITE-50 e pelo ITE-54.

Por se tratar de um edifício existente é difícil descortinar com clareza as soluções usadas na construção do imóvel, porém o facto de a República se encontrar num estado degradado permite fazer uma análise mais clara, visto poder-se observar o interior de paredes, lajes, coberturas, etc..

Assim, originalmente a Real República do Bota-Abaixo é constituída por paredes exteriores em alvenaria ordinária de calcário com cerca de 60 cm. Em algumas paredes existem PTPs, mais concretamente por baixo das janelas. Aí as paredes continuam a ser de calcário mas com uma espessura mais fina, 22 cm. As paredes interiores são semelhantes às exteriores, mas com espessuras diferentes, 50 cm, 16 cm e 10 cm. O pavimento com o solo é simplesmente cimento com 10 cm de espessura. Os pavimentos intermédios entre pisos apresentam dois tipos, ou são constituídos somente de madeira com caixa-de-ar no interior, ou são de piso em madeira com a parte que serve de tecto à divisão inferior rebocada a gesso, também com caixa-de-ar pelo interior. A cobertura com o exterior é um simples telhado de telhas com forro de madeira contraplacada. Os tectos que separam desvãos superiores não habitados com espaços úteis são muito simples, compostos apenas por uma camada feita com tábuas de madeira. Todas as portas são de madeira e os envidraçados são de caixilharia em madeira, vidro simples com portadas de madeira pelo interior. No Anexo B encontra-se uma descrição mais pormenorizada destes elementos construtivos.

Para as estratégias teóricas de melhoria térmica do edifício teve-se em conta as já referidas limitações do Centro Histórico de Coimbra, assim as paredes exteriores principais não sofrem qualquer alteração. As paredes exteriores que funcionam como PTPs alteraram-se, acrescentando isolamento pelo interior, melhorando a sua performance sem pôr em risco o aspecto exterior da casa. Os pavimentos e coberturas exteriores e em contacto com espaços não úteis também foram alvo de alterações, visto que são facilmente isolados não pondo em causa a arquitectura histórica do edifício. As janelas, como se tem de manter fiéis à sua forma original, continuam a ser de vidro simples com caixilharia em

madeira, mas no lugar das portadas considera-se uma outra janela de vidro simples, caixilharia em madeira com a portada incluída. No Anexo B encontram-se as soluções construtivas alteradas em pormenor.

Na tabela 3.3 encontram-se os valores de U para as diferentes soluções construtivas antes e depois de alteradas

Tabela 3.3. Valor de U para as diferentes soluções construtivas antes e depois de alteradas.

Soluções Construtivas Originais	U [W/m ² .°C]	Soluções Construtivas Modificadas	U [W/m ² .°C]
PE.1	1,36	-	-
PE.2	2,56	PE.2.1	0,67
PI.1	1,36	-	-
PI.2	2,35	PI.2.1	0,65
PI.3	2,69	PI.3.1	0,68
PV.1	3,70	PV.1.1	0,61
PVC.1 Ascendente	1,47	PVC.1.1 Ascendente	0,43
PVC.1 Descendente	1,22	PVC.1.1 Descendente	0,41
PVC.2 Ascendente	1,46	PVC.2.1 Ascendente	0,43
PVC.2 Descendente	1,21	PVC.2.1 Descendente	0,41
CE.1 Ascendente	5,00	CE.1.1 Ascendente	0,55
CE.1 Ascendente	3,70	CE.1.1 Ascendente	0,53
CI.1 Ascendente	3,00	CI.1.1 Ascendente	0,51
CI.1 Ascendente	2,11	CI.1.1 Ascendente	0,48
POE.1	2,70	-	-
POI.1	2,17	-	-
E.1	5,10	E.1.1	2,50

Para além destas estratégias a nível das soluções construtivas, como já se referiu, também se alteraram os dados relativos à ventilação, tornando-se o imóvel menos permeável ao ar exterior.

Numa segunda fase joga-se com as trocas de ar com o exterior, tentando otimizar os consumos com climatização e nível de conforto térmico dos ocupantes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Simulações Considerando Taxa de Infiltração de Ar Constante ao Longo do Ano

4.1.1. Consumos com Climatização

Numa primeira fase realizou-se uma simulação dinâmica onde foram obtidos os resultados em kWh/ano dos consumos com climatização: aquecimento e arrefecimento, com temperaturas interiores entre os 20°C e 25°C, e taxa de infiltração de ar constante ao longo o ano, no caso do edifício na sua forma original. Depois fez-se uma simulação nos mesmos moldes com as estratégias de reabilitação implementadas. No gráfico 4.1 podemos observar os resultados dessas simulações.

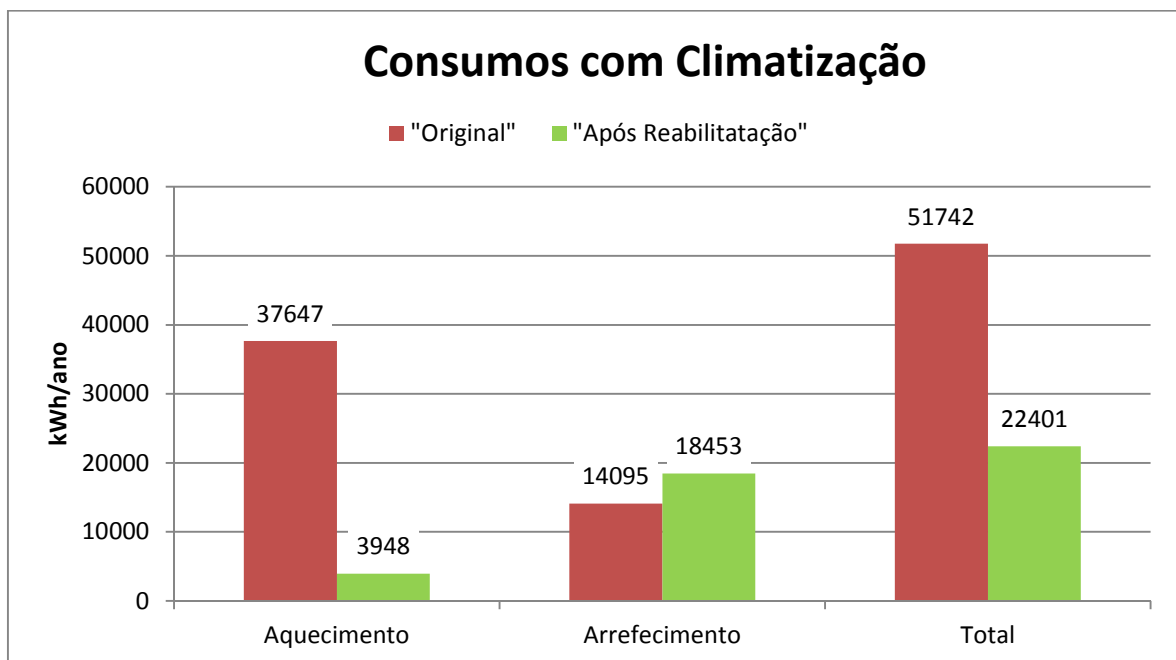


Figura 4.1. Consumo com climatização antes e depois da reabilitação.

Analisando os resultados obtidos verifica-se que inicialmente os consumos de climatização são bastante elevados: 51742 kWh/ano, dos quais 37647 kWh/ano são gastos

em aquecimento e 14095 kWh/ano em arrefecimento. Após a reabilitação observa-se uma redução das necessidades totais em 57% passando estas a serem de 22401 kWh/ano. De constatar que os gastos com aquecimento reduzem-se em 90% mas os de aquecimento aumentam em 31%. Assim os consumos com aquecimento, no primeiro caso, representam 73%, e as necessidades com arrefecimento 27% dos consumos totais. No segundo caso existe uma inversão: os gastos de aquecimento representam 18% e os de arrefecimento 82% das necessidades totais.

Para uma melhor compreensão destas alterações de consumos foram realizadas várias simulações, onde se averiguou o efeito das diferentes estratégias utilizadas na reabilitação teórica. Na primeira dessas simulações teve-se em conta apenas o efeito da mudança dos envidraçados, quer em termos da melhoria do seu coeficiente de transmissão térmica, como também o efeito em termos de estanquidade ao ar que a sua substituição alterou no modelo, passando as infiltrações de ar a serem no valor de 0,6 h⁻¹. Na segunda apenas se alterou no modelo original os pavimentos, os tectos e as coberturas. Na terceira foram alteradas as PTPs e as paredes interiores em contacto com espaços não climatizados. Na Gráfico 4.2 encontram-se os resultados dessas simulações.

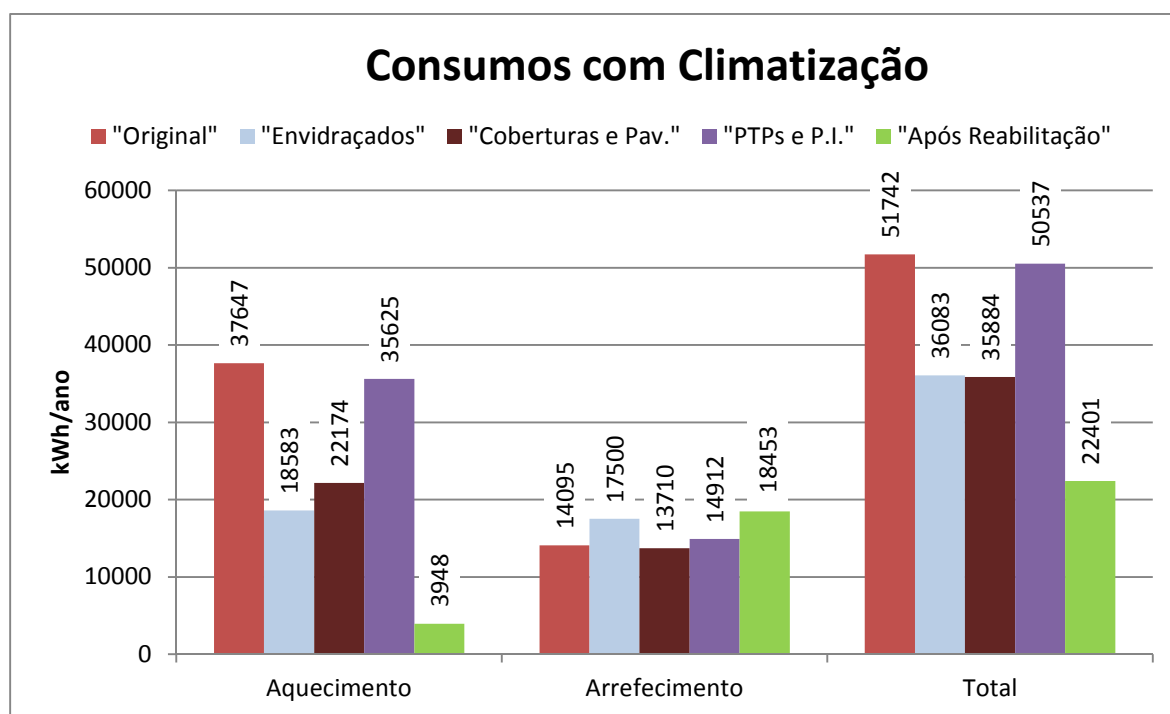


Figura 4.2. Consumo com climatização para as diferentes estratégias de reabilitação.

Analisando o gráfico 4.2 verifica-se que a mudança de envidraçados, assim como a redução da taxa de infiltração de ar, tem um efeito na redução de gastos em climatização em cerca de 30%, havendo uma diminuição do aquecimento em 51% e um aumento do arrefecimento em 24%. Aqui se pode encontrar uma das explicações para o aumento dos consumos de arrefecimento após a reabilitação: a diminuição das taxas de infiltração de ar, visto que os envidraçados apenas correspondem a 6% de toda a envolvente exterior. Uma grande taxa de infiltração de ar promove uma grande entrada de ar frio nos meses de Inverno, o que eleva os gastos com aquecimento. Mas nos meses mais quentes a entrada de ar ajuda a refrescar o interior do edifício, funcionando como uma espécie de *free-cooling*.

Ao avaliar-se a mudança de telhados, tectos e pavimentos, obtém-se uma diminuição de necessidades totais em 31%, sendo que as necessidades de aquecimento diminuem em 41% diminuindo também as de arrefecimento mas apenas em 3%.

Isolando as PTPs e as paredes internas em contacto com espaços não úteis as alterações são quase mínimas, o que seria de esperar visto afectarem apenas uma pequena área da envolvente do edifício. Verifica-se uma redução de gastos totais de 2 %, diminuindo 5% em aquecimento e aumentando em arrefecimento 6%. O que leva a crer que o isolamento de paredes exteriores e de paredes interiores com espaços não climatizados conduz ao aumento dos consumos com arrefecimento apesar de diminuir os gastos totais e os de aquecimento.

Nos gráficos 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam-se os resultados obtidos por piso, para as diferentes simulações, em aquecimento, arrefecimento e consumos totais.

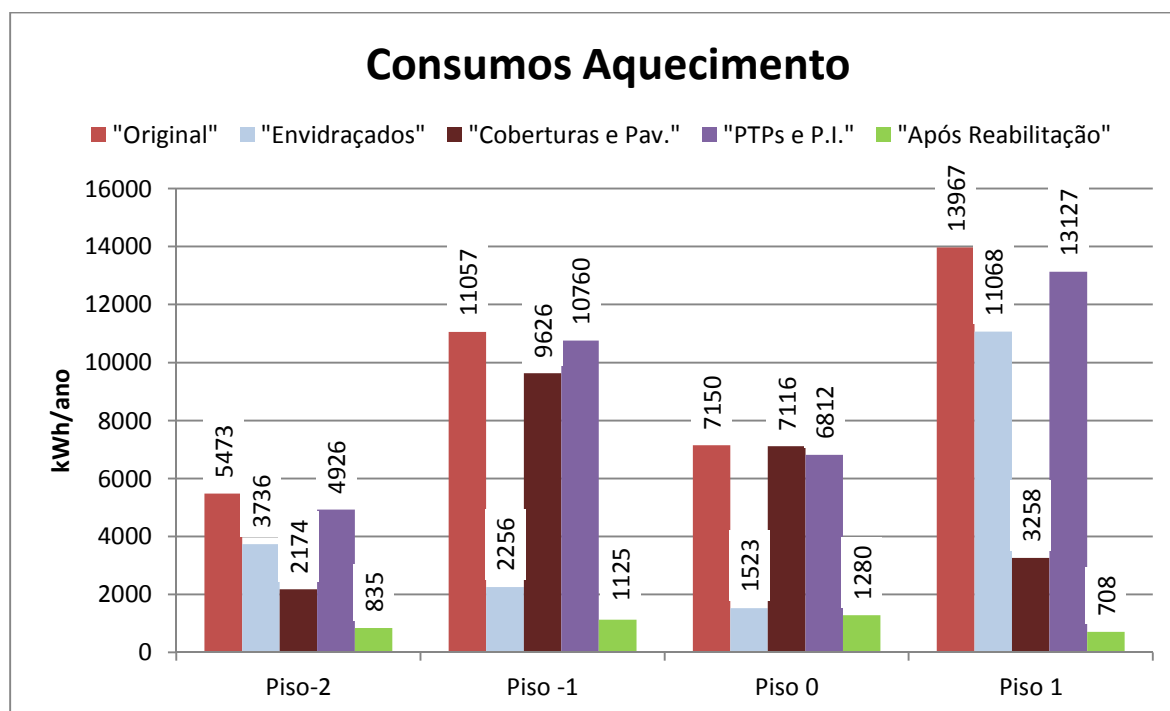


Figura 4.3. Consumo de aquecimento dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.

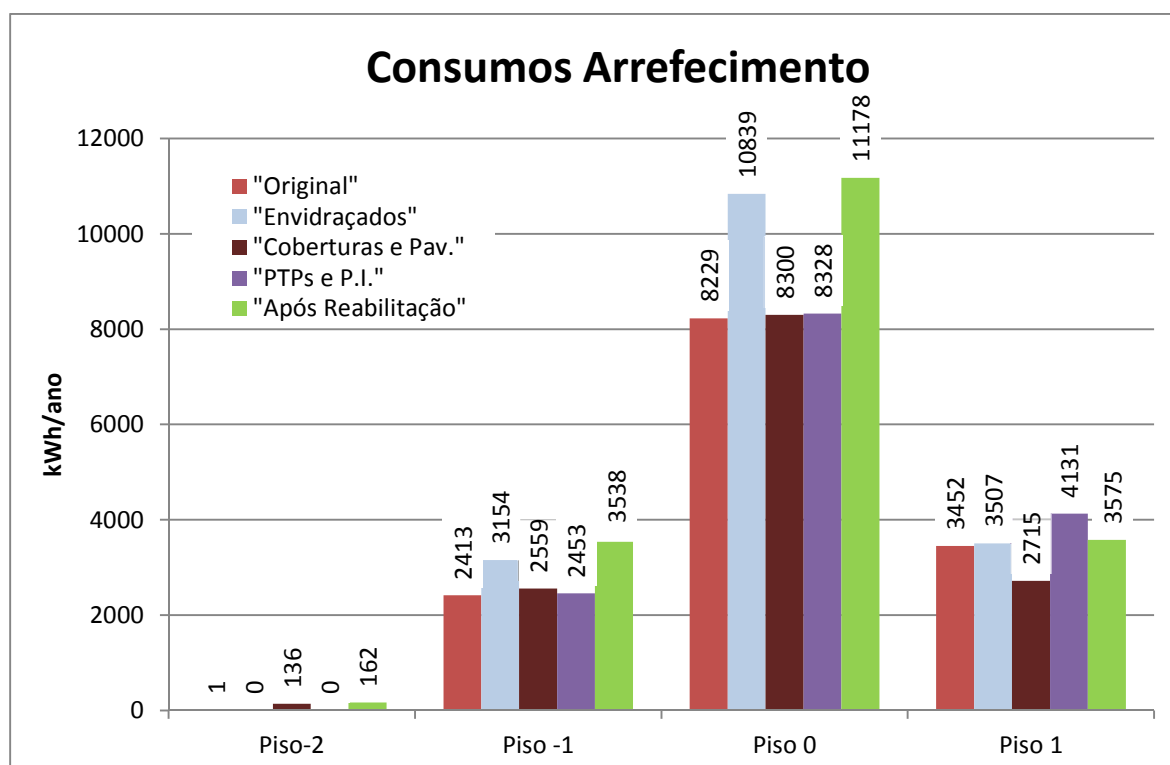


Figura 4.4. Consumo de arrefecimento dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.

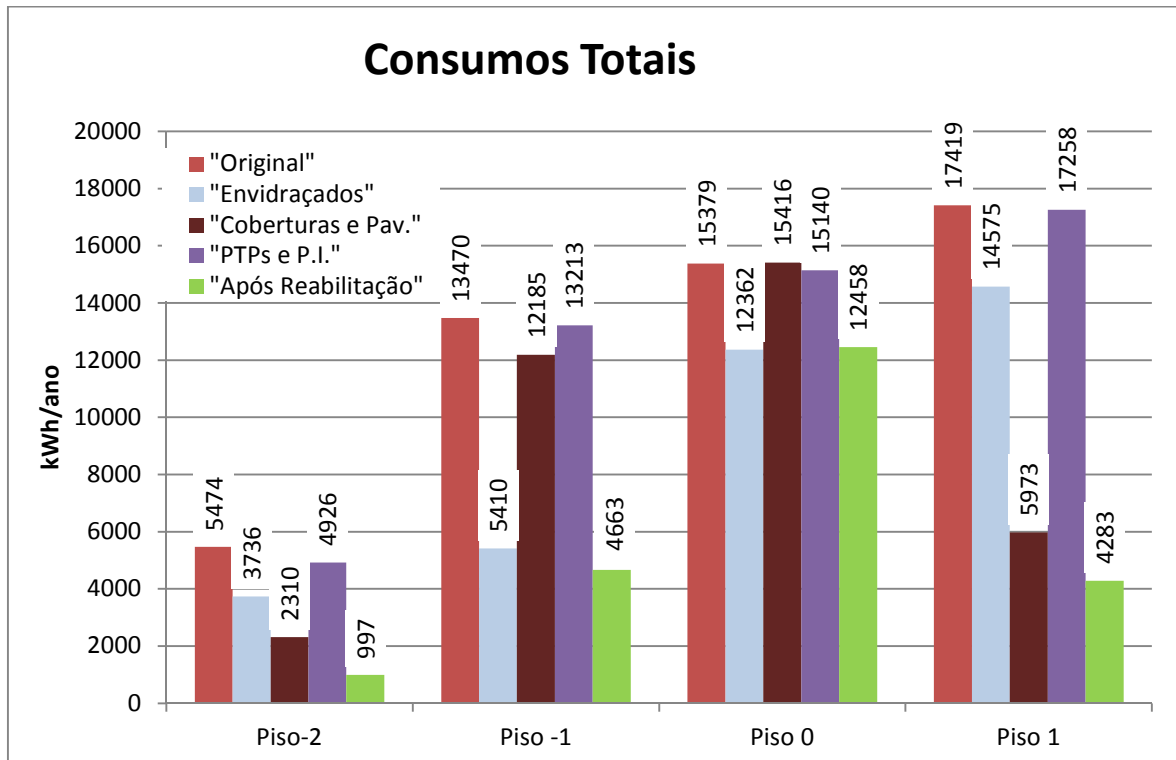


Figura 4.5. Consumo total de climatização dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.

Observando os resultados, piso a piso das simulações efectuadas, podem-se retirar algumas conclusões.

Depois da reabilitação, em aquecimento todos os andares vêm os seus consumos serem reduzidos. Em arrefecimento passa-se o contrário, aumentando em todos os pisos os consumos. Nos gastos totais com climatização os consumos são reduzidos em todos os andares.

O piso -2 não consome quase nada em termos de arrefecimento, quer antes (0,01% do total de gastos em arrefecimento) quer depois das alterações de reabilitação (1%). Mas apesar de só ser composto por duas zonas, que em área útil ocupam 8% da área útil total do edifício, este piso consome 15% dos consumos totais de aquecimento do edifício no seu estado original e 21% depois da sua reabilitação. Ou seja, apesar de não gastar muito em arrefecimento acaba por ter necessidades de aquecimento elevadas em relação ao resto do edifício. O facto de este piso estar parcialmente enterrado é uma das prováveis razões para tal suceder, pois o solo ajuda a arrefecer devido à sua temperatura.

Os gastos de climatização totais, como tal, são idênticos aos de aquecimento. É o piso que maior oscilação tem entre os gastos totais antes e depois da reabilitação.

O piso -1 é o segundo piso inicialmente a ter mais gastos em aquecimento (29%), mas após a reabilitação passa para segundo nessa categoria (28%), uma vez que assiste a uma grande redução nessa área. Talvez por ser o andar que apresenta no início uma maior taxa de infiltração de ar. Em arrefecimento, apesar de ser o andar com maior percentagem de área útil do imóvel, 38%, é a seguir ao piso -2 o que menos consome, quer antes (17%) quer depois da reabilitação (19%), pois este piso também apresenta paredes enterradas.

O piso 0, que apresenta 34% de área útil total do edifício, é de longe o que apresenta mais gastos em arrefecimento, quer antes quer depois da reabilitação, 58% e 61% respectivamente. Muito possivelmente por este andar ser aquele que apresenta zonas com maiores densidades de equipamentos e ocupação. No aquecimento passa do segundo com menos consumo (19%) para o que o mais consome após a reabilitação (32%). Apresenta inicialmente o segundo consumo de climatização total, 30%, após a reabilitação passa a ser o primeiro, consumindo 56% das necessidades totais da República. Esse aumento deve-se ao facto deste piso ser aquele que menos baixa os consumos de aquecimento e o que mais aumenta os consumos com arrefecimento depois de reabilitado.

O piso 1 que se situa nas águas-furtadas da República, composto apenas por 6 zonas que correspondem a 20% da área total útil do edifício, é o piso que sofre maior descida nos consumos com aquecimento. Apresenta no início os maiores gastos em aquecimento: 37%, passando a consumir 18% depois das alterações impostas, tornando-se o que menos consome nessa área. Esse facto deve-se ao isolamento das suas coberturas exteriores e tectos com desvãos ventilados, que correspondem a grande parte da sua envolvente, e que inicialmente apresentavam um valor péssimo de U. Em arrefecimento, é o andar que menos aumenta essas necessidades depois de reabilitado. Logo nos gastos totais de climatização apresenta uma grande oscilação entre o antes e depois da reabilitação.

Analisando agora os resultados das simulações que dividem as estratégias de melhoria por grupos observa-se que a troca de janelas e a mudança da taxa de infiltrações de ar vai resultar na diminuição de gastos com aquecimentos em todos os pisos, principalmente no -1 e 0, tendo menos impacto no -2 e no 1. Inversamente os gastos com

arrefecimento aumentam em todos os andares, verificando-se um aumento mais acentuado no 0, seguido do -1, tendo menos impacto no -2 e 1. Os valores de arrefecimento obtidos nesta simulação são muito próximos dos obtidos na simulação final, quer piso a piso, quer no edifício no seu todo, o que reforça a teoria já atrás descrita: do efeito da diminuição das taxas de infiltração de ar no aumento dos valores de necessidades em arrefecimento. As necessidades gerais de climatização descem em todos os pisos, mais acentuadamente no piso -1.

O efeito do isolamento de coberturas, tectos e pavimentos, reduz em todos os pisos os gastos com aquecimento, sendo esse abaixamento elevado no primeiro andar, seguido da sub-cave, da cave, e torna-se muito ligeiro no rés-do-chão. O que tem lógica visto as soluções construtivas estudadas se localizarem principalmente no piso 1 (coberturas com o exterior, e tectos em contacto com espaços não habitados) e no piso -2 (pavimentos em contacto com o solo). Os valores de arrefecimento aumentam ligeiramente nos andares -2, -1 e 0, mas reduzem-se de forma algo significativa no piso 1. Estes resultados levam a crer que o isolamento de pavimentos e tectos poderá aumentar os gastos com arrefecimento, mas isolar coberturas exteriores de zonas que possuem largas áreas dessa mesma cobertura reduz esses mesmos gastos. Nos gastos totais com climatização, como não podia deixar de ser, essas medidas reduzem claramente esses consumos no piso 1 e um pouco menos no -2. No piso -1 essa redução já não é tão acentuada e no piso 0 esses gastos são ligeiramente superiores aos iniciais.

O isolamento das PTPs e de paredes interiores em contacto com espaços não úteis, soluções construtivas que representam pouca área no total da envolvente do edifício, tem um efeito mínimo na redução de gastos com aquecimento em todos os pisos. No piso 1, piso que possui mais área de paredes em contacto com desvãos não habitados, essa redução é ligeiramente maior. O mesmo se passa para as necessidades com arrefecimento, mas em vez de se assistir a uma redução de gastos, assiste-se a um aumento. Nas necessidades totais de climatização todos os pisos vão sofrer uma ligeiríssima redução.

4.1.2. Horas de Desconforto

Depois da análise de consumos energéticos com climatização, fizeram-se simulações idênticas, mas não considerando qualquer tipo de sistema de climatização, estipulando-se um intervalo de temperaturas de interiores entre os 18°C e 28°C, e

analisando o número de horas anuais que os ocupantes estão sujeitos a temperaturas fora do intervalo de conforto inserido. Os resultados obtidos são a soma dos resultados obtidos em todas as zonas ocupadas do edifício.

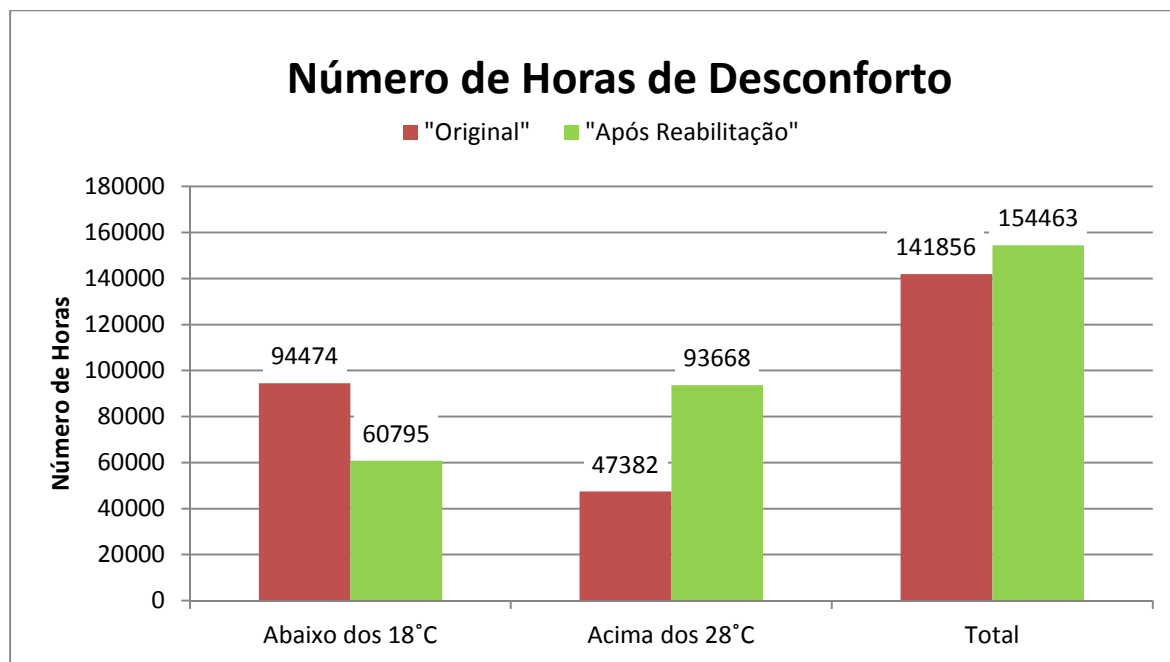


Figura 4.6. Número de horas de desconforto antes e depois da reabilitação.

Observando o gráfico 4.6 verifica-se que o número de horas fora das temperaturas de conforto aumenta com a reabilitação do imóvel, ao contrário do que acontece com os gastos em climatização que diminuem. Assim a quantidade de horas fora da zona de conforto aumenta em 9%. Abaixo dos 18°C no início obtém-se 94474 horas passando para 60795 horas, havendo uma redução de 36%. Já acima dos 28°C, tem-se um aumento de 47382 horas para as 93668 horas, aumento de 98%. O abaixamento do número de horas abaixo dos 18°C não chega para compensar o aumento para quase o dobro do número de horas acima dos 28°C.

No gráfico 4.7 encontram-se os resultados das diferentes estratégias no número de horas em desconforto.

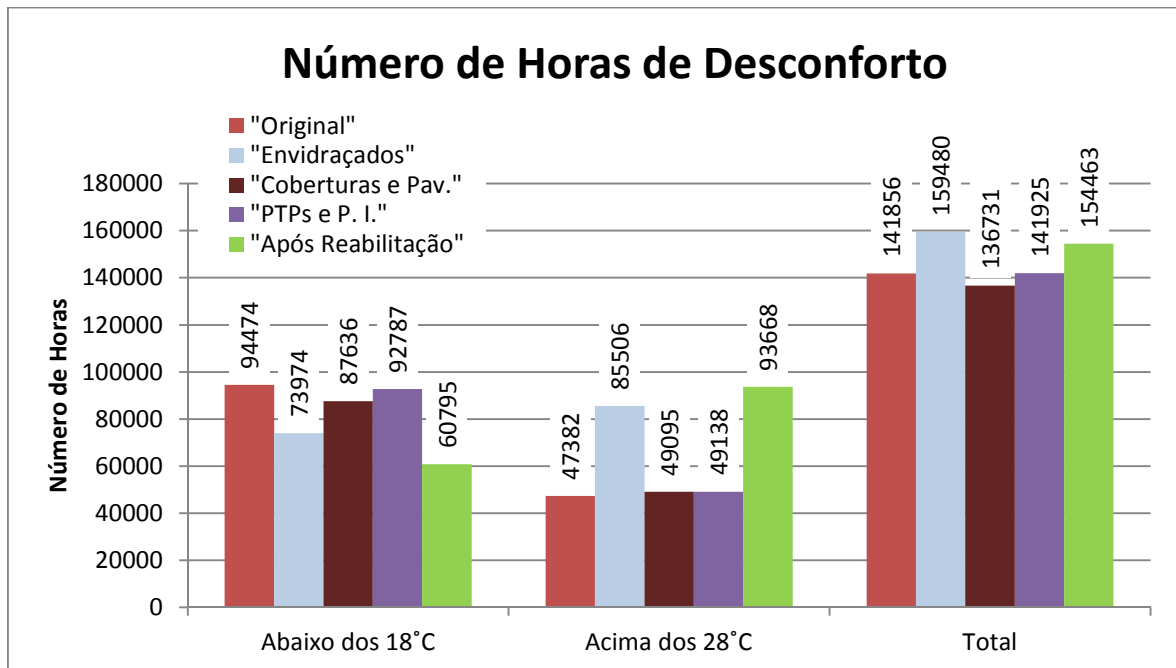


Figura 4.7. Número de horas de desconforto para as diferentes estratégias de reabilitação.

Desta análise detalhada verifica-se que a mudança de vidros e principalmente a mudança da taxa de infiltração de ar tem o impacto de aumentar o número de horas fora do intervalo de conforto, aumento de 12%. Abaixo dos 18°C existe uma redução de 22%, e acima dos 28°C existe um aumento de 80%.

O isolamento de coberturas, tectos e pavimentos, resulta numa pequena redução na quantidade de horas abaixo dos 18°C, redução de 7%. Acima dos 28°C verifica-se um ligeiro aumento cifrado em 2%. Sendo que o número de horas totais sofre uma redução de 4%.

O isolamento de PTPs e paredes internas em contacto com espaços não úteis provoca ainda menos oscilações nos resultados iniciais, havendo uma redução de 2% de horas abaixo dos 18°C, e um aumento de 4% de horas acima dos 28°C. No número total de horas de desconforto existe um aumento mínimo de 0,05%.

Daqui se conclui que todas as medidas propostas contribuem para uma diminuição do número de horas de desconforto abaixo dos 18°C, e a medida de troca de envidraçados e a consequente diminuição da taxa de infiltração de ar é a que mais contribui para isso. Acontece o mesmo para o aumento do número de horas acima dos 28°C. No total do número de horas de desconforto apenas o isolamento de coberturas, tectos e pavimentos faz com que o número de horas de conforto diminua, apesar de muito pouco.

Nos gráficos 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam-se os resultados piso a piso.

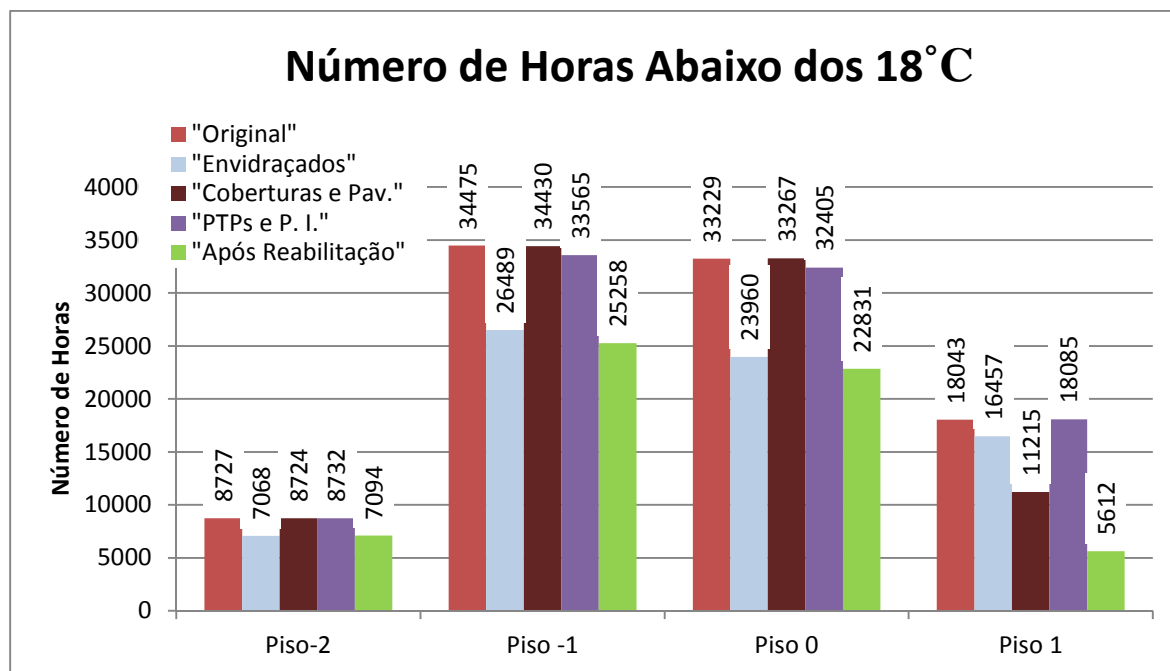


Figura 4.8. Número de horas abaixo dos 18°C dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.

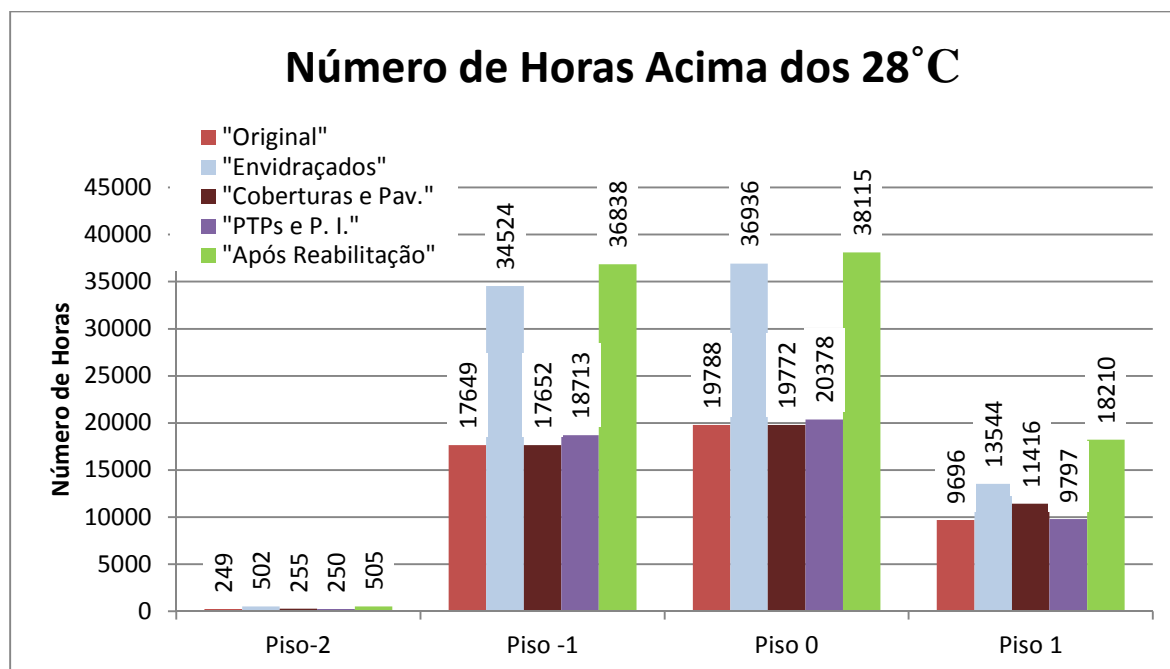


Figura 4.9. Número de horas acima dos 28°C dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.

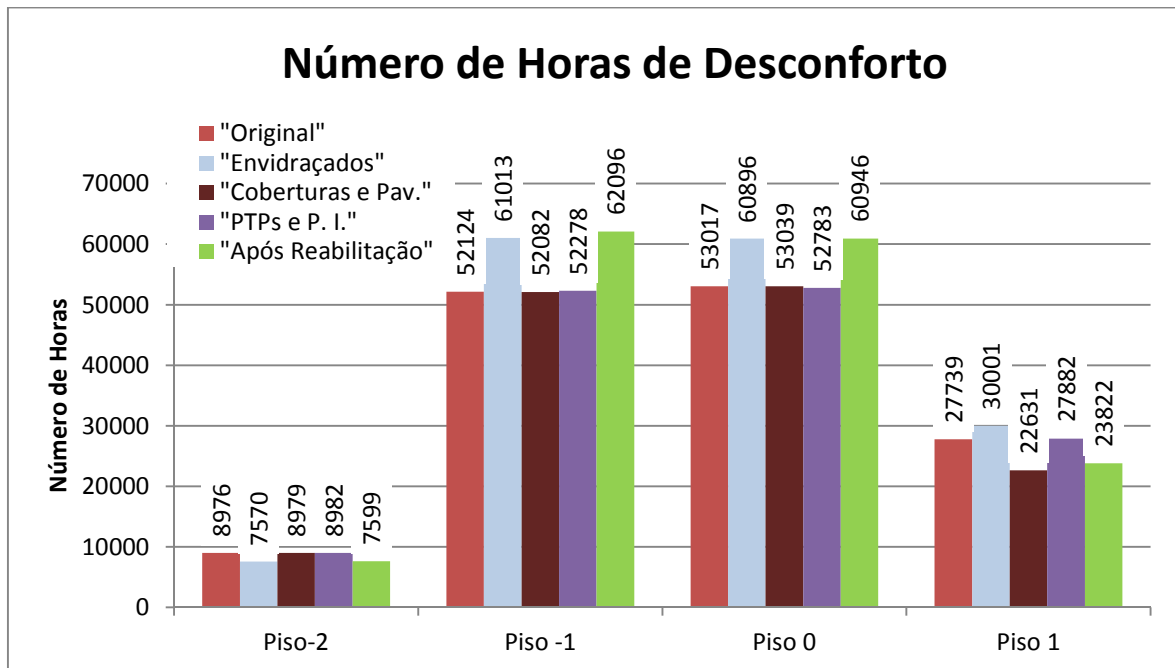


Figura 4.10. Número de horas de desconforto dos vários pisos para diferentes estratégias de reabilitação.

Observando os gráficos 4.8, 4.9 e 4.10, verifica-se que o número de horas abaixo dos 18°C, antes da reabilitação, encontra-se distribuído por piso de acordo com a área útil relativa dos pisos em relação ao imóvel, ao contrário do que acontece com os gastos com aquecimento.

Após a reabilitação a situação muda, pois, apesar de em todos os andares se verificar uma redução do número de horas abaixo dos 18°C, o piso que maior redução sofre é o 1 e o que sofre maior redução é o -1, passando o piso 1 (piso mais intervencionado, através do isolamento de muita da sua envolvente exterior) a ser o que tem menor número de horas abaixo dos 18°C.

O número de horas acima dos 28°C antes da reabilitação no piso -2 é bastante baixo, 0,5%, situação normal, que apresenta a mesma explicação de haver poucos consumos de arrefecimento nesse piso. No piso 0, analogamente com os gastos em arrefecimento, é onde se apresentam mais horas acima dos 28°C, mas não de uma forma tão inequívoca, uma vez que esse piso apresenta 42% das horas totais acima dos 28°C, ao passo que o piso -1 representa 37% e o piso 1 20%.

Depois da reabilitação todos os pisos sofrem um aumento de cerca do dobro da quantidade de horas acima dos 28°C.

Após a reabilitação, o piso -1 e 1 sofrem uma diminuição do número de horas fora do intervalo de desconforto, 15% e 14%, respectivamente. Ao contrário do que se passa nos pisos -1 e 0 que sofrem um aumento, 19% e 15%, respectivamente. Apesar de haver redução em dois andares e haver um aumento em outros 2, os pisos que vêm o seu número de horas aumentado são responsáveis por maior número de horas de desconforto que os que vêm o seu número reduzido, por isso, como já foi referido anteriormente, o somatório de horas de desconforto para todo o edifício vai aumentar após a reabilitação.

Continuando a observar-se os gráficos 4.8, 4.9 e 4.10 verifica-se que a mudança de envidraçados, e a conseqüente mudança de taxa de infiltração de ar, representa uma redução em todos os pisos do número de horas abaixo dos 18°C. Já para o número de horas acima dos 28°C observa-se um aumento do número de horas de desconforto em todos os andares. Nas horas totais de desconforto existe um ligeiro aumento nos pisos -2, -1 e 0, pois eles aumentam mais a sua quantidade de horas cima dos 28°C que abaixo dos 18°C. No piso -2 existe uma pequena redução, visto que as horas acima dos 28°C continuam quase nulas neste piso.

A alteração de cobertura, tectos e pavimentos provoca pequenas oscilações no número de horas abaixo dos 18°C nos pisos -2, -1 e 0, diminuindo nos dois primeiros e aumentando no último. No primeiro andar, como seria de esperar, existe uma redução mais visível. Acima dos 28°C, as alterações verificadas nos pisos -2, -1 e 0 são quase invisíveis, aumentando nos dois primeiros e diminuindo no último. No piso 1 esse número de horas aumenta de uma forma mais visível. Nas horas totais de desconforto as alterações, como não poderia deixar de ser, são mínimas nos pisos -2, -1 e 0, diminuindo no piso -1, e aumentando nos pisos -2 e 0. No primeiro andar como existe maior diminuição de horas abaixo dos 18°C que aumento de horas acima dos 28°C existe uma redução geral de horas de desconforto. Aqui verifica-se que esta medida, como já foi anteriormente dito, é muito relevante para o primeiro andar.

Tal como na simulação considerando sistema de climatização, o isolamento de PTPs e paredes internas em contacto com espaços não úteis, não tem quase efeito nenhum no número de horas em desconforto, apesar de haver reduções e aumentos, eles são mínimos. Abaixo dos 18°C aumenta o número de horas nos pisos -2 e 1, e diminui no piso -1 e 0. Acima dos 28°C todos os andares vêm o seu número de horas aumentado. Nas horas totais de desconforto, os pisos -2, -1 e 1 sofrem um aumento e o rés-do chão uma redução.

4.2. Simulações Considerando Taxa de Infiltração de Ar Variáveis

4.2.1. Consumos com climatização

Como se verificou a reabilitação feita apesar de reduzir os consumos totais com climatização apresenta o problema de aumentar os gastos com arrefecimento, e uma das principais razões tem a ver com a troca de ar com o exterior (infiltrações de ar). O programa utilizado (*Ecotect*) apresenta nos sistemas de climatização uma opção que simula a hipótese dos ocupantes abrirem portas e janelas, quando a temperatura do ar exterior está dentro dos limites das temperaturas de conforto térmico (sistema *mixed-mode*), assumindo que nesse caso os sistemas de climatização deixam de estar activos no período em que essas temperaturas ocorrem. Assim fez-se mais uma simulação com o sistema *mixed-mode* onde todas as estratégias de reabilitação estão implementadas.

Para além dessa simulação fez-se uma outra, em que se alterou na simulação anterior a taxa de infiltração de ar. Assim criou-se uma nova taxa de infiltração de ar, na qual durante os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro a infiltração de ar é $2,40 \text{ h}^{-1}$, entre as 20:00 h e as 7:00h, mantendo-se nas outras horas a taxa de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Nos meses que sobram manteve-se as renovações de ar iguais em todas as horas no valor de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Pretende-se com esta alteração estudar o efeito de uma ventilação nocturna nos meses de Verão, em que se aproveita a temperatura do ar exterior para arrefecer a casa. Para comparar os resultados obtidos com os anteriormente obtidos: caso do edifício no seu estado original, e caso do edifício após a reabilitação, apresenta-se o gráfico 4.11.

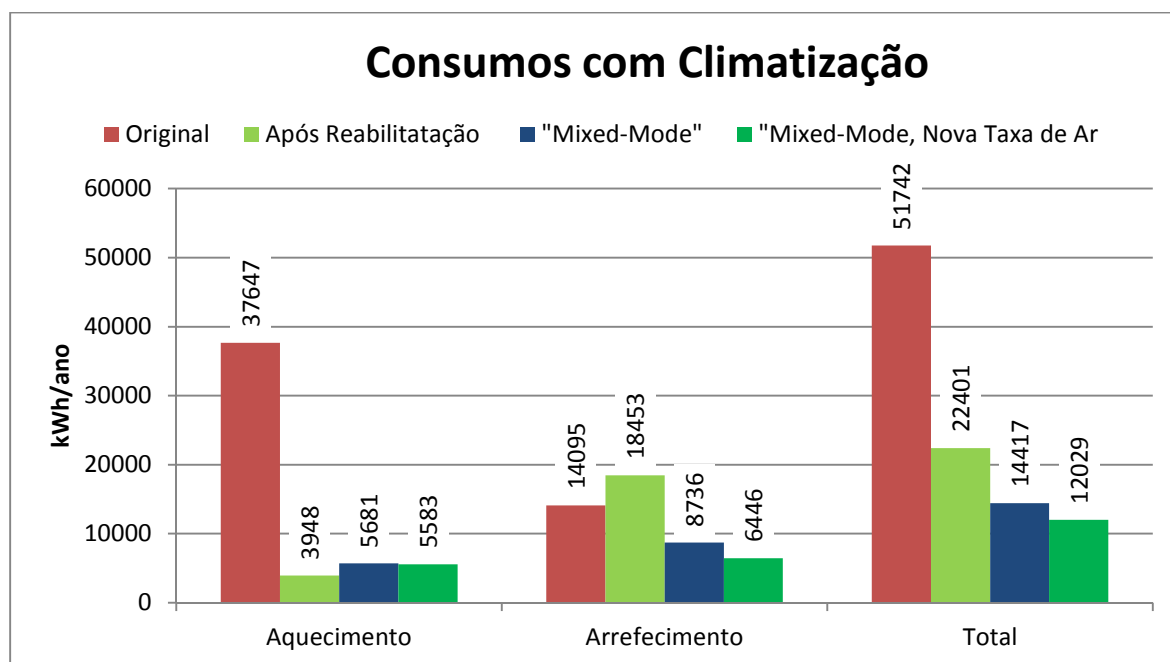


Figura 4.11. Consumos com climatização das diferentes análises de reabilitação.

Analisando o gráfico 4.11, verifica-se que o efeito da mudança de equipamentos para o sistema *mixed-mode* promove um ligeiro aumento dos gastos em aquecimento em relação à simulação após a reabilitação, continuando muito menores que no caso da República no seu estado original.

Em arrefecimento, a razão principal para a mudança de sistema de climatização, os valores não só descem em relação à simulação após a reabilitação, como descem em relação à simulação primordial.

Nos gastos totais com climatização, como é de esperar os valores descem em relação às duas simulações que a precedem.

A simulação com sistema *mixed-mode* e uma nova taxa de renovação de ar é aquela que apresenta os melhores resultados. Apesar de em aquecimento os valores se manterem quase idênticos à simulação anterior, facto que se revela normal, pois nos meses mais frios não se alterou nada em termos de ventilação, existe uma redução nos gastos em arrefecimento em relação a todas as outras simulações, e conseqüentemente uma redução também dos gastos totais.

Verifica-se assim que o papel activo dos ocupantes no controlo de entrada de ar dentro do edifício é uma ferramenta importante na poupança de recursos energéticos com climatização, principalmente em arrefecimento.

Analisando as poupanças que se obtém fazendo-se uma reabilitação energética da Real-República do Bota-Abaixo, não só através da melhoria das soluções construtivas, mas também com uma maior atenção dos seus habitantes na possibilidade de eles próprios serem um factor de poupança de consumos com climatização, verifica-se que da primeira para a última simulação há um decréscimo de gastos com aquecimento de 85%, 54% em arrefecimento e 77% em gastos totais com climatização, passando as necessidades de aquecimento a representar 31% das necessidades totais e as de arrefecimento 69%.

Nos gráficos 4.12, 4.13 e 4.14 observa-se os resultados, das quatro simulações anteriormente analisadas, dos consumos com climatização piso a piso.

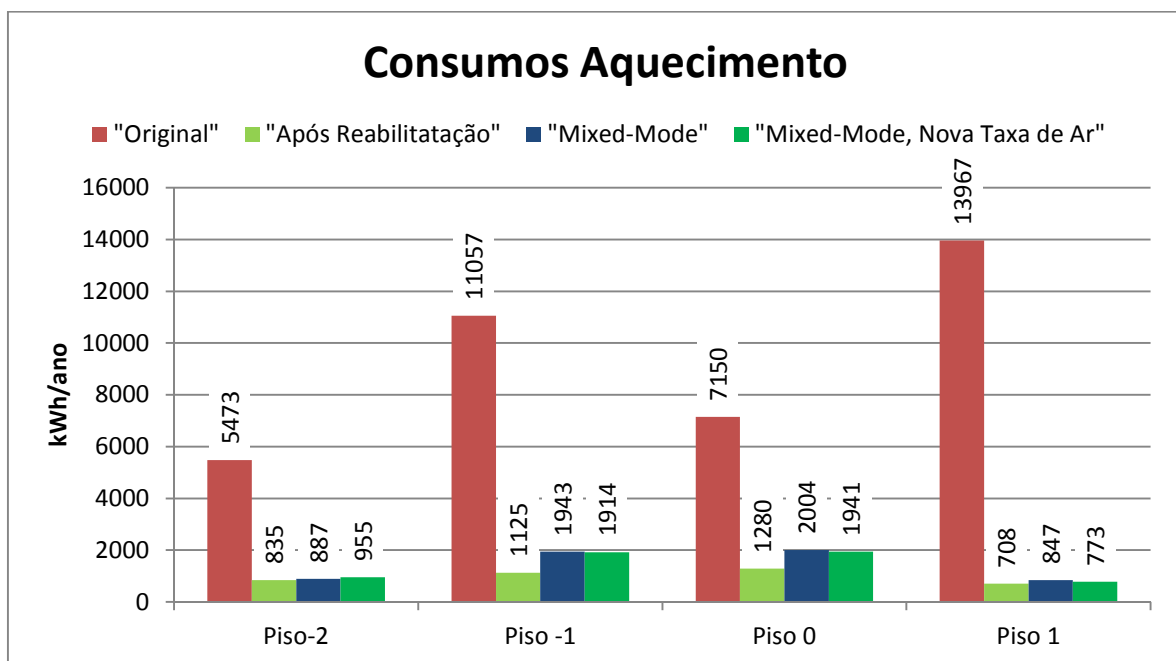


Figura 4.12. Consumos de aquecimento dos vários pisos das diferentes simulações.

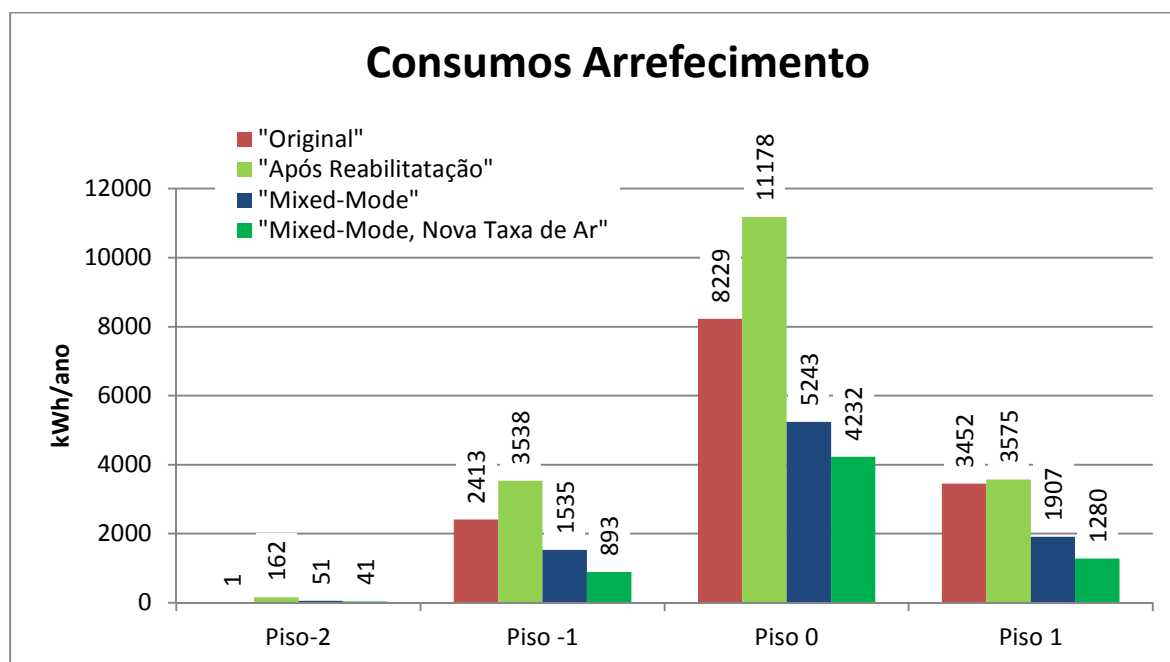


Figura 4.13. Consumos de arrefecimento dos vários pisos das diferentes simulações.

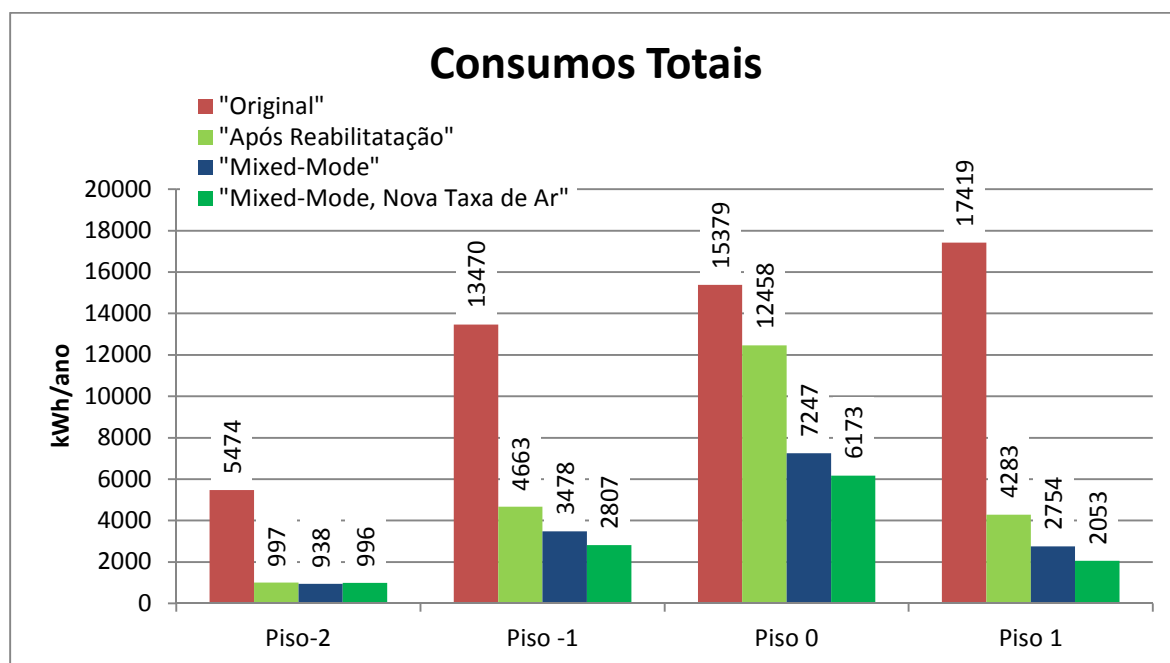


Figura 4.14. Consumos totais de climatização dos vários pisos das diferentes simulações.

Analisando os gráficos 4.12, 4.13 e 4.14 observa-se que no andar -2, em aquecimento, a primeira simulação de reabilitação vai reduzir, como já foi descrito, em muito os consumos, depois as outras simulações vão aumentar mínima e sucessivamente as

necessidades. Em arrefecimento o aumento verificado com a reabilitação vai ser reduzido também sucessivamente pelas simulações seguintes. Em gastos totais o sistema *mixed-mode* vai reduzir minimamente os consumos alcançados na primeira reabilitação, mas após a introdução da nova taxa de infiltração de ar, esse valor vai subir, aproximando-se, não o ultrapassando, do resultado obtido na primeira reabilitação.

Nos pisos seguintes, em todos os casos existe um padrão, quer em aquecimento, arrefecimento e necessidades globais.

Em aquecimento todos os pisos começam por ver os seus gastos reduzidos com a primeira reabilitação, depois a simulação utilizando o sistema *mixed-mode* vai aumentar um pouco esses resultados, que vão ser minimamente reduzidos após a introdução da nova taxa de infiltração de ar, nunca baixando para os valores que se obtém na primeira reabilitação.

Em arrefecimento, o aumento causado pelas primeiras alterações propostas vai ser progressivamente reduzido com a implementação das novas medidas, apresentando resultados mais baixos que os da simulação efectuada antes de qualquer reabilitação.

Nos gastos totais verifica-se um gráfico em escada descendente nestes pisos, cada simulação analisada reduz cada vez mais as necessidades totais de climatização. Notando-se que no piso 0, andar, como já referido anteriormente, onde as densidades de ocupação e de equipamento são maiores, as medidas que promovem uma maior taxa de troca de ar com o exterior vão reduzir de uma forma mais clara as necessidades de arrefecimento e consequentemente os gastos totais com climatização.

4.2.2. Horas de Desconforto

Seguidamente fez-se as mesmas duas simulações que consideram uma maior entrada de ar dentro da habitação, mas para o caso de não haver sistemas activos de climatização. Neste caso, o *Ecotect* possui uma opção de ventilação natural que simula a mesma abertura de janelas quando a temperatura exterior está dentro dos intervalos de conforto pretendidos. Assim a primeira simulação foi efectuada com este sistema, e a segunda com o mesmo e a nova taxa de infiltração de ar já referida. Tal como nas simulações anteriores, onde se analisou as horas totais fora do intervalo de conforto, o intervalo de temperaturas de conforto situa-se entre os 18°C e os 28°C. De forma a

comparar os resultados obtidos com os anteriores: caso do edifício no seu estado original, e caso do edifício após a primeira reabilitação, apresenta-se o gráfico 4.15.

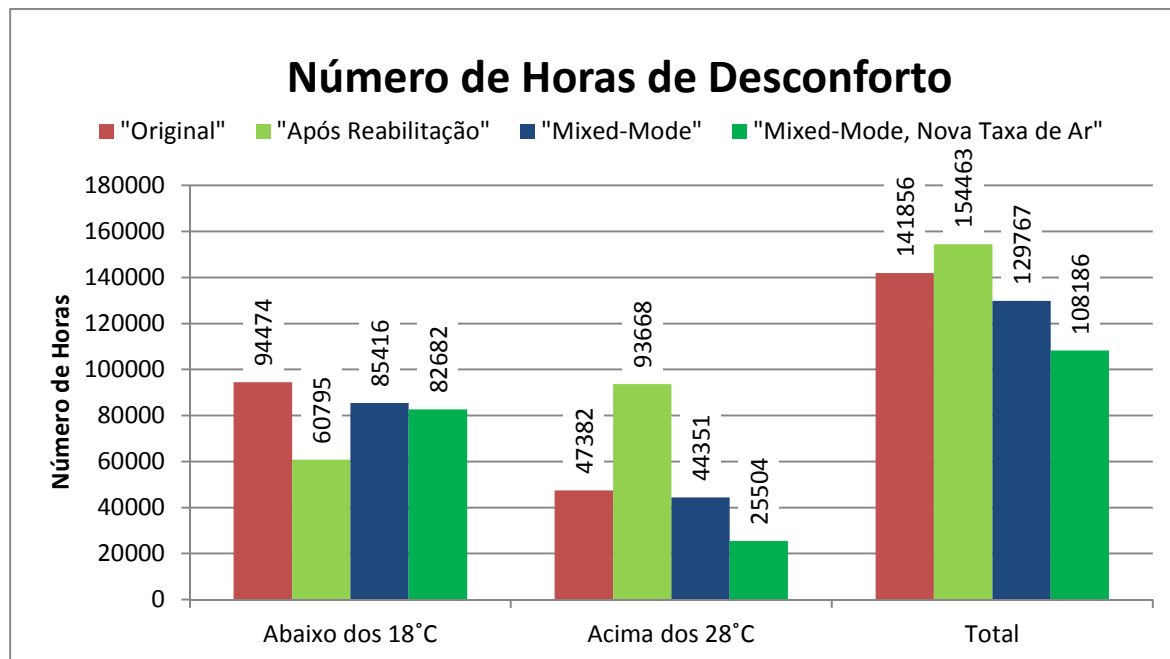


Figura 4.15. Número de horas de desconforto das diferentes simulações.

Da análise do gráfico 4.15 observa-se que após a diminuição do número de horas abaixo dos 18°C, provocado pela primeira reabilitação, a simulação efectuada com o sistema de “ventilação natural” do *Ecotect* vai aumentar esse valor, não ultrapassando os resultados antes de qualquer reabilitação. A introdução da nova taxa de infiltração de ar apenas vai reduzir ligeiramente o resultado anterior.

No número de horas acima dos 28°C, como já se referiu, a primeira hipótese de reabilitação irá aumentar esse número de horas, já a simulação considerando a ventilação natural vai reduzir essa quantidade de horas, reduzindo mesmo os valores da simulação original. As novas taxas de infiltração de ar aliadas ao sistema *Ecotect* de “ventilação natural” ainda vão reduzir mais esse número de horas. O mesmo acontece com o total de horas fora do intervalo de conforto.

Assim, comparando o número de horas da simulação original com os resultados da última simulação, o número de horas abaixo dos 18°C diminui 12 %, acima dos 28°C diminui 46%, e fora do intervalo de conforto 24%.

Nos gráficos 4.16, 4.17 e 4.18 encontram-se os resultados das quatro simulações anteriormente analisadas para o número de horas fora do intervalo de desconforto, piso a piso.

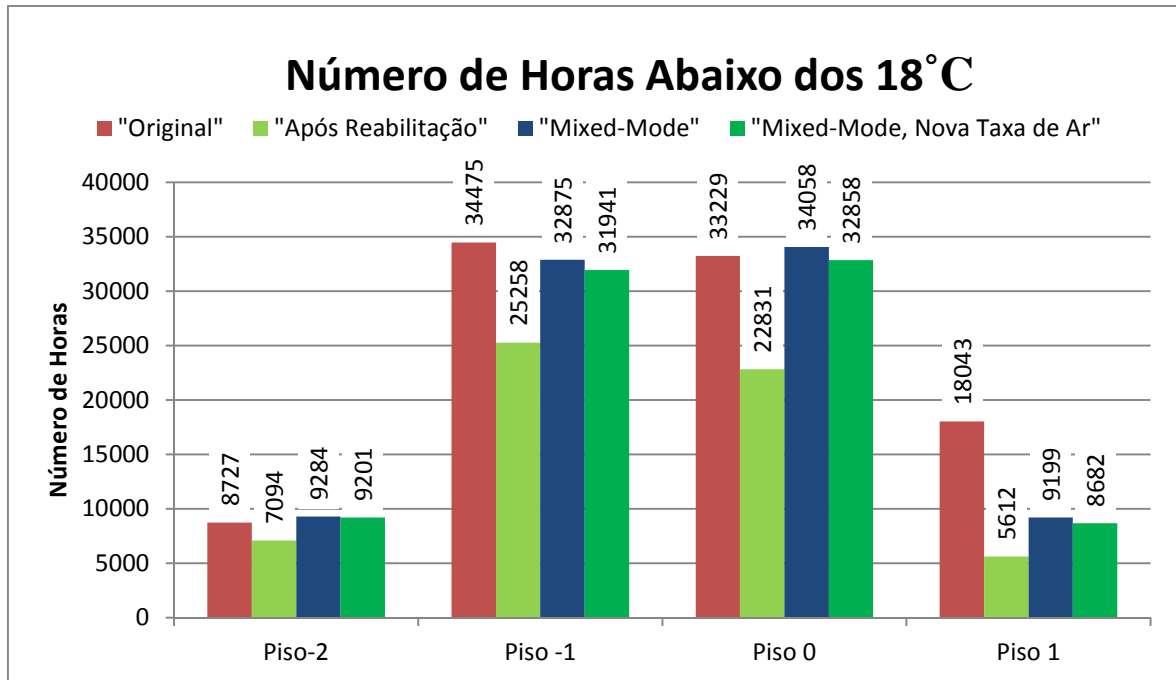


Figura 4.16. Número de horas abaixo dos 18°C das diferentes simulações.

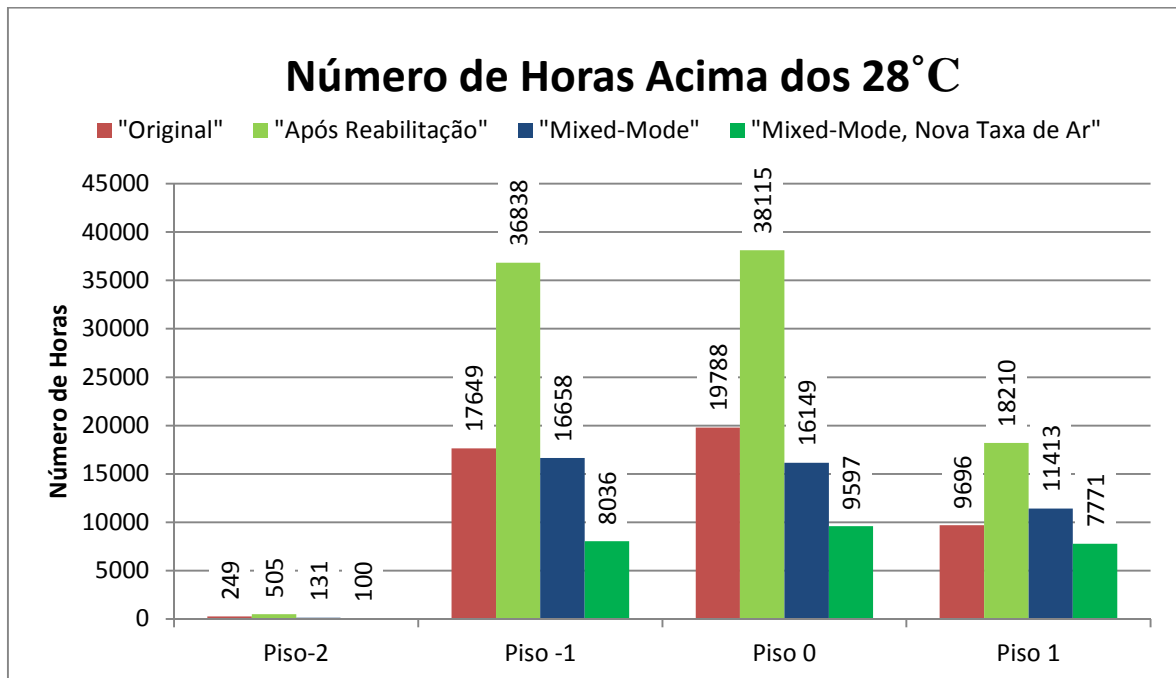


Figura 4.17. Número de horas acima dos 18°C das diferentes simulações.

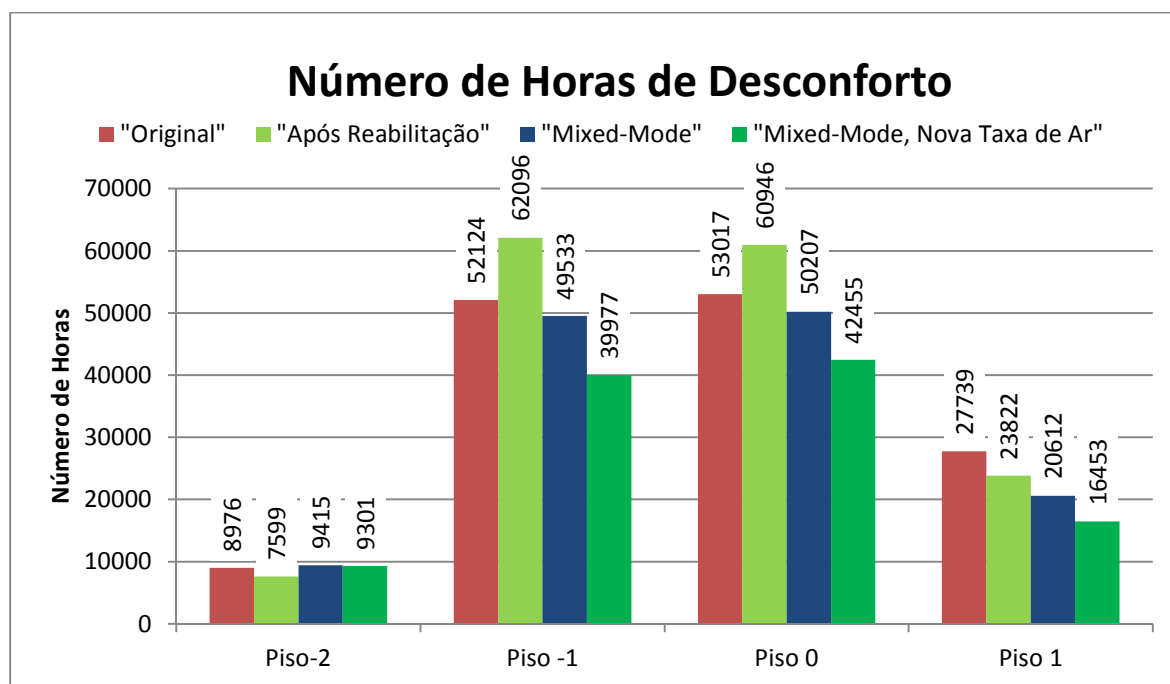


Figura 4.18. Número de horas totais de desconforto das diferentes simulações.

Analisando os gráficos 4.16, 4.17 e 4.18, verifica-se que o número de horas abaixo do 18°C com a reabilitação inicial vai baixar em todos os pisos. Após a implementação do sistema “ventilação natural” a quantidade de horas aumenta em todos os andares. No piso -2 e 0 esse aumento supera residualmente os resultados obtidos na simulação inicial. Nos outros pisos o número de horas é mais baixo que na simulação inicial. A mudança de taxa de infiltração de ar vai reduzir ligeiramente os resultados relativamente à simulação anterior, sendo que apenas o piso -2 apresenta um resultado superior à simulação original. Acima dos 28°C os pisos -2, -1 e 0 apresentam o mesmo padrão: após o referido aumento do número de horas provocada pela primeira reabilitação, a “ventilação natural” irá diminuir esse valor ligeiramente abaixo dos resultados iniciais. Depois a infiltração nocturna de ar nos meses mais quentes reduz ainda mais esses valores. No caso do primeiro andar passa-se algo idêntico, com a excepção dos resultados em “ventilação natural” que ultrapassam residualmente os da simulação original, o que é corrigido com a alteração da taxa de infiltração de ar.

No número de horas totais de desconforto, o piso -2 depois da descida do número de horas após a primeira reabilitação sofre um aumento com a “ventilação natural”, seguido de uma ligeira redução com a introdução da nova taxa de infiltração de

ar, nunca os valores descendo abaixo dos resultados obtidos na primeira simulação. O piso -1 e 0 têm um comportamento semelhante, com a subida assistida na reabilitação a ser anulada através da “ventilação natural” para valores ligeiramente abaixo da simulação original. Resultados esses que vão sofrer ainda um decréscimo com a última das estratégias aplicada. No piso 1 observa-se um gráfico em escada descendente, o resultado de cada simulação é menor que o anterior.

4.3. RCCTE

Depois das simulações fez-se também a verificação do RCCTE para os dois casos principais, antes e depois das estratégias de melhoria térmica do edifício.

Como seria de esperar o edifício no seu estado original não está de acordo com o regulamento.

Desde logo, a maior parte dos coeficientes de transmissão térmica não se encontram em conformidade com o RCCTE. Como é o caso do U das PTPs, coberturas exteriores, pavimentos em contacto com espaços não úteis, tectos com espaços não úteis e paredes interiores em contacto com espaços não úteis.

Com a implementação das novas soluções construtivas, toda a envolvente exterior do edifício cumpre os limites do RCCTE. No quadro 4.1 encontra-se um resumo dos valores de U admitidos, os coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas originais e das novas soluções construtivas.

Vai-se também analisar os resultados obtidos das necessidades nominais: de aquecimento, de arrefecimento, de energia para preparação de AQS e globais de energia primária, bem como a classe energética do edifício. Na tabela 4.2 encontram-se os resultados admissíveis para estes valores, assim como o seu resultado para os dois casos em estudo.

Tabela 4.1. Valores de U admissíveis, das soluções construtivas originais e das novas soluções construtivas.

Soluções construtivas	U limite	U Soluções Construtivas Originais	U Novas Soluções Construtivas
	W/m ² .°C		
PE.1	1,80	1,36	-
PE.2	1,80	2,56	0,67
PVC.1 Ascendente	1,65	1,47	0,43
PVC.1 Descendente	1,65	1,22	0,41
PVC.2 Ascendente	1,65	1,46	0,43
PVC.2 Descendente	1,65	1,21	0,41
CE.1 Ascendente	1,25	5,00	0,55
CE.1 Ascendente	1,25	3,70	0,53
CI.1 Ascendente	1,65	3,00	0,51
CI.1 Ascendente	1,65	2,11	0,48
PI.1	2,00	1,36	-
PI.2	2,00	2,35	0,65
PI.3	2,00	2,69	0,68

Tabela 4.2. Necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, AQS e específicas de energia útil e classe energética da Real República do Bota-Abaixo.

Necessidades	Unidades	Limite	RCCTE Original	RCCTE após Reabilitação
Ni, Nic	kWh/m ² .ano	66,88	118,65	57,66
Nv, Nvc	kWh/m ² .ano	18	4	4,97
Na, Nac	kWh/m ² .ano	21,41	15,37	17,29
Nt, Ntc	kgep/m ² .ano	3,65	8,01	2,20
Classe Energética	-	B-	E	B

Da observação da tabela 4.2 conclui-se que inicialmente a República ultrapassa as necessidades nominais de energia útil para aquecimento máximas, e as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária máximas. Depois da reabilitação todas as necessidades encontram-se abaixo dos seus valores máximos.

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento baixam de um caso para o outro 51%.

As necessidades nominais de energia útil para arrefecimento aumentam, tal como aumentam os valores de energia consumida em arrefecimento na primeira simulação de reabilitação feita no *Ecotect*. Esse aumento cifra-se em 24%.

As necessidades de energia útil para preparação das águas quentes sanitárias também aumentam, 12%. Esse aumento explica-se pela troca de sistema de aquecimento das AQS, substituindo-se teoricamente o termoacumulador eléctrico em uso na Real-República do Bota-Abaixo por um termoacumulador a gás com pelo menos 100 mm de isolamento térmico.

Essa alteração também vai ter o seu impacto nas necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária, visto que sem esta alteração essas necessidades nunca estariam abaixo do valor limite. Outra alteração simples feita no RCCTE foi trocar a forma de aquecimento, que inicialmente se considerava feito com recurso a aquecedores eléctricos, por aquecedores a gás. Assim as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária descem em 73%.

A Real-República do Bota-Abaixo passa de um edifício de classe energética E para um de classe energética B.

Esta avaliação apenas demonstra que, apesar dos edificados em zonas históricas não serem abrangidos pelo RCCTE, é possível eles respeitarem esse decreto-lei, não sofrendo alterações que ponham em causa a sua identidade arquitectónica.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se uma reabilitação energética de um edifício situado no centro histórico da alta de Coimbra, a Real República do Bota-Abaixo.

A poupança energética é um tema essencial nos dias de hoje. Assim a reabilitação pretendida focou-se essencialmente na possibilidade da redução de consumos com climatização que este edifício possa apresentar e na melhoria do seu conforto térmico interior.

Os edifícios antigos são na sua maioria construções que não oferecerem condições de conforto térmico aos seus ocupantes, pelo que qualquer intervenção nessa área os transforma em casas mais acolhedores para os seus habitantes. Muitas das mudanças estruturais que implicam um melhor comportamento térmico do edifício estão à partida vedadas por uma série de normas de reabilitação, que impedem que o edificado histórico perca a sua identidade histórica e cultural. Assim acontece no centro histórico de Coimbra. Por isso propôs-se apenas medidas de melhoria que estejam dentro dos limites estabelecidos: isolamento de coberturas, pavimentos, lajes, melhoramento das janelas existentes e um controlo de infiltrações de ar.

Utilizando uma ferramenta de simulação energética, o *Ecotect*, fez-se a análise do edifício antes de qualquer alteração, estudando-se depois os efeitos das melhorias propostas. Para a realização dessas análises teve-se em conta todos os factores que interferem nesse estudo: a localização do imóvel, a sua geometria e envolvente, soluções construtivas, as taxas de ocupação, iluminação, equipamentos e taxa de infiltração de ar.

Para descortinar os consumos anuais com climatização considerou-se um equipamento de 100% de eficiência para temperaturas de conforto entre os 20°C e os 25°C. Para a análise de conforto térmico que a República apresenta e pode apresentar, estudou-se o número de horas no intervalo de temperaturas entre os 18°C e os 28°C, que os ocupantes estão sujeitos ao longo de um ano.

Os resultados foram positivos, não só porque se conseguiu reduzir significativamente os gastos iniciais com climatização através da reabilitação e o número de horas de desconforto, como também se verificou que pequenas medidas podem ter um

grande impacto. É o caso do controle de trocas de ar com o exterior, que foi uma das medidas mais importantes na reabilitação.

Para complementar o estudo fez-se ainda uma análise recorrendo ao RCCTE. Apesar de os centros históricos estarem fora desta legislação, provou-se que não é de todo impossível edifícios históricos respeitarem esse decreto-lei.

Ficam aqui as notas conclusivas da análise realizada neste trabalho:

- A Real República do Bota-Abaixo inicialmente apresenta elevados consumos com climatização, mais elevados em aquecimento que em arrefecimento.
- Analogamente o número de horas de desconforto também é elevado, havendo mais horas abaixo dos 18°C que acima dos 28°C.
- Após a introdução das medidas de reabilitação térmica, as necessidades totais com climatização são reduzidas para cerca do dobro, diminuindo significativamente os gastos em aquecimento, mas aumentando os gastos com arrefecimento, tornando-se os consumos de arrefecimento superiores aos de aquecimento.
- Na quantidade de horas de desconforto a reabilitação teve o efeito de aumentar esse número, pois apesar de haver uma diminuição abaixo dos 18°C, esse número de horas aumenta acima dos 28°C.
- A principal causa para o aumento dos gastos com arrefecimento e do número de horas acima dos 28°C é a diminuição da taxa de infiltração de ar.
- As simulações onde a troca de ar com o exterior passa a ser um factor de climatização permitem anular o efeito do aumento de gastos com arrefecimento e do número de horas acima dos 28°C.
- Da primeira para a última simulação há um decréscimo de 77% nas necessidades totais com climatização, 85% de redução com aquecimento e 54% de redução com arrefecimento, passando as necessidades de arrefecimento a serem maiores que as de aquecimento.
- A quantidade de horas de desconforto térmico também é reduzida em 24%, abaixo dos 18°C em 12 % e acima dos 28°C 46%.
- A sub-cave, que apresenta parte das suas paredes enterradas e pavimentos em contacto com o solo, apresenta ao longo das simulações poucos ou quase nulos consumos com arrefecimento, bem como um diminuto número de horas acima dos 28°C.

- O rés-do-chão é o piso que apresenta maiores densidades de iluminação, equipamentos e ocupação. É o que tem maiores necessidades de aquecimento em todas as simulações.
- O primeiro andar é o piso mais intervencionado na reabilitação. As suas coberturas exteriores, que representam grande parte da sua envolvente, vão ser completamente isoladas. Assim como os tectos e paredes em contacto com desvãos fortemente ventilados. É o piso que mais reduz as suas necessidades de aquecimento e totais de climatização.
- Após a reabilitação, a Real República do Bota-Abaixo passa a estar regulamentar relativamente ao RCCTE, passando de um edifício de classe energética E para um imóvel de classe energética B.

Resumindo, mostrou-se que é possível dotar edifícios antigos de condições mais favoráveis para uma vida mais confortável no seu interior, sem gastos extremos com climatização, mantendo esses edifícios a sua herança histórica, cultural e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE (2012), “Guia da eficiência energética.
- ADENE (2014),”Classes de desempenho energético” Acedido em 25 de Janeiro de 2014 em <http://www2.adene.pt/pt-pt>
- Alexandre, J. L., Freire, A., Teixeira, A. M., Silva, M. e Rouboa, A. (2011), “Impact of European standard EN15251 in the energy certification of services buildings—A Portuguese study case”. *Energy Policy*, 39, 6390-6399. Acedido em 20 de Janeiro de 2014, em: <http://www.elsevier.com/locate/enpol>
- Araújo, L. e Almeida, M. (2006). “Thermal inertia walls in portuguese traditional rock for passivesolar heating of buildings”. *Climamed Congress, Lyon, France 20-21 November 2006* pp 277-286
- Autodesk (2010), “Autodesk Ecotect Help”.
- CMC (2012). “Coimbra Alta Volume B – Estudos de caracterização”.
- Decreto-Lei no 118/2013 de 20 de Agosto, “Diário da República nº 159/13 – I Série”, Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- Decreto-Lei no 78/2006 de 4 de Abril, “Diário da República nº 67/06 – I Série – A”, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto-Lei no 79/2006 de 4 de Abril, “Diário da República nº 67/06 – I Série – A”. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto-Lei no 80/2006 de 4 de Abril, “Diário da República nº 67/06 – I Série – A”. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- EDITAL Nº 278/2002 “Regulamento municipal de edificação, recuperação e reconversão urbanística da área crítica do centro histórico da cidade de Coimbra”. 13 de Novembro de 2002, Coimbra.
- Ganhão, A. M. e Amado, M. P. (2012), “Sustainable Construction: Energy Efficiency in Residential Buildings”. Acedido em 22 de Janeiro de 2014, em http://docentes.fct.unl.pt/ma/files/sustainable_construction__energy_efficiency_in_residential_buildings_bsa_2012.pdf
- Gomes, J.J.C (2012), “Simulação dinâmica detalhada de um grande edifício no âmbito do RSECE”. Tese de mestrado do ciclo de estudos integrados conducentes ao grau de mestre em engenharia mecânica. Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Braga.
- Grytli, E. (2011), “Energy efficiency in historic timber buildings”. Postprints from the conference: *Energy Efficiency in Historic Buildings*, Visby, February 9-11, 2011, pp 93-117
- Martín, S., Mazarrón, F. R. e Cañas, I. (2010), “Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal

inertia” *Construction and Building Materials* 24 666–676. Acedido em 21 de Janeiro de 2014, em: [http:// www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)

Santos, C. A. P. e Matias L. (2006), “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”. LNEC, Lisboa

Santos, C. A. P. e Rodrigues R. (2009), “Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios. Soluções construtivas de edifícios antigos. Soluções construtivas das regiões autónomas”. LNEC, Lisboa

Widstrom, T e Mattson, M. (2011), “Simulation of the energy performance of historic buildings”. *Postprints from the conference: Energy Efficiency in Historic Buildings*, Visby, February 9-11, 2011, pp 81-92

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DA ENVOLVENTE DA REAL REPÚBLICA DO BOTA- ABAIXO

Tabela 0.1. Paredes externas da sub-cave.

Descrição			Paredes Externas							
			Paredes Principais						PTP	
Piso	Zona	Clim.	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]
-2	1	Não	SW	7,74	-	-	-	-	SW	1,3
-2	2	Não	SE	4,77	-	-	-	-	SE	0,85
-2	3	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
-2	4	Não	W	3,57	-	-	-	-	-	-
-2	5	Não	S	2,06	W	2,72	-	-	-	-
-2	6	Não	W	4,53	-	-	-	-	-	-
-2	7	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
-2	8	Não	S	1,12	-	-	-	-	-	-
-2	9	Sim	SE	4,16	SW	5,75	-	-	SE	0,38
-2	10	Sim	SE	3,95	-	-	-	-	SE	0,25
-2	11	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
-2	12	Não	SW	6,23	-	-	-	-	-	-
-2	13	Não	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 0.2. Envoltente da sub-cave.

Descrição		Parede com Terreno		Parede com Espaço Não Clim.	Pavimento com Terreno	Envidraçados			Portas		
		P. P.	PTP			Ext.	Int.	Ext.	Int.		
Piso	Zona	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	A [m ²]
-2	1	9,52	-	-	18,31	SW	0,66	-	-	-	-
-2	2	0,49	0,21	-	15,87	SE	1,09	-	-	-	-
-2	3	11,59	-	-	13,30	-	-	-	-	-	-
-2	4	11,35	-	-	13,41	W	0,45	-	-	-	-
-2	5	1,68	-	-	2,31	-	-	-	-	-	-
-2	6	0,362	-	-	15,10	-	-	-	W	2,26	-
-2	7	-	-	-	6,09	-	-	-	-	-	-
-2	8	0,91	-	-	7,86	-	-	-	-	-	-
-2	9	6,93	0,78	12,67	21,40	SE	1,06	-	-	-	-
-2	10	2,08	0,78	11,02	13,16	SE	1,08	0,21	-	-	1,44
-2	11	6,71	-	-	10,4	-	-	-	-	-	-
-2	12	0,87	-	-	14,06	SW	1,23	-	SW	0,59	-
-2	13	4,33	-	-	5,14	-	-	-	-	-	-

Tabela 0.3. Paredes externas da cave.

Descrição			Paredes Externas							
			Paredes Principais						PTP	
Piso	Zona	Clim.	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]
-1	14	Sim	E	10,21	SW	7,12	-	-	SW	0,84
-1	15	Sim	SW	5,39	-	-	-	-	SW	0,84
-1/0	16	Sim	SW	13,50	-	-	-	-	-	-
-1	17	Sim	NE	0,41	-	-	-	-	-	-
-1	18	Sim	SE	6,43	-	-	-	-	SE	1,13
-1	19	Sim	SE	8,93	-	-	-	-	SE	1,13
-1	20	Sim	S	7,61	W	10,75	-	-	-	-
-1	21	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
-1	22	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
-1	23	Sim	N	6,47	-	-	-	-	-	-
-1	24	Sim	N	7,72	W	4,91	-	-	W	1,12
-1	25	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
-1	26	Sim	SE	8,60	-	-	-	-	-	-
-1	27	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
-1	28	Sim	SW	2,96	-	-	-	-	-	-
-1	29	Sim	N	2,69	NE	0,55	-	-	-	-

Tabela 0.4. Envoltente da cave.

Descrição		Paredes com Tereno	Parede com Espaço Não Clim.	Pavimento com Espaço Não Clim.	Cobertura com Espaço Não clim.	Envidraçados			Portas		
						Ext.	Int.	Ext.	Int.		
Piso	Zona	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	A [m ²]
-1	14	9,31	0,86	13,59	-	SW	1,31	-	-	-	-
-1	15	-	-	10,27	-	SW	1,31	-	-	-	-
-1/0	16	-	-	0,57	1,57	SW	0,32	-	-	-	-
-1	17	10,60	0,81	5,97	-	-	-	-	-	-	-
-1	18	-	-	13,09	-	SE	1,28	-	-	-	-
-1	19	-	-	-	-	SE	1,24	-	-	-	-
-1	20	-	-	18,23	-	W	1,42	-	W	0,83	-
-1	21	-	6,97	8,63	-	-	-	-	-	-	1,97
-1	22	-	-	2,33	-	-	-	-	-	-	-
-1	23	8,79	-	10,97	-	-	-	-	-	-	-
-1	24	5,07	-	13,41	-	W	1,42	-	-	-	-
-1	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1	26	-	-	5,34	-	SE	1,41	-	SE	0,71	-
-1	27	-	-	5,57	-	-	-	-	-	-	-
-1	28	-	-	1,99	-	-	-	-	-	-	-
-1	29	11,50	-	12,86	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 0.5. Paredes externas do R/C.

Descrição			Paredes Externas							
			Paredes Principais						PTP	
Piso	Zona	Clim.	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	PTP	A [m ²]	Ori.	A [m ²]
0	30	Sim	E	12,35	SW	13,74	-	-	-	-
0	31	Sim	NE	4,95	-	-	-	-	-	-
0	32	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
0	33	Sim	SE	9,98	SW	12,68	SE	1,24	SW	1,25
0	34	Sim	S	8,45	W	8,45	-	-	W	2,86
0	35	Sim	N	8,22	W	5,31	-	-	-	-
0	36	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
0	37	Sim	N	6,64	-	-	-	-	N	1,38
0	38	Sim	N	9,04	-	-	-	-	-	-
0	39	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-
0	40	Sim	N	7,03	NE	1,68	-	-	N	1,41
0	41	Sim	SE	9,34	-	-	-	-	SE	1,24
0	42	Sim	SE	9,19	-	-	-	-	SE	1,24
0	43	Sim	N	2,33	-	-	-	-	-	-
0	44	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 0.6. Envolvente do R/C.

Descrição		Parede com Espaço Não Climatizado	Cobertura com Espaço Não Climatizado	Envidraçados Exteriores				Portas Exteriores	
Piso	Zona	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	Ori.	A [m ²]
0	30	14,96	20,24	SW	1,84	-	-	SW	0,76
0	31	3,51	3,59	-	-	-	-	-	-
0	32	-	5,26	-	-	-	-	-	-
0	33	-	8,44	SE	1,33	SW	1,33	-	-
0	34	-	8,30	W	0,08	W	2,01	W	1,00
0	35	-	1,86	W	1,97	-	-	W	0,99
0	36	-	0,34	-	-	-	-	-	-
0	37	-	3,71	N	1,35	-	-	-	-
0	38	-	4,56	N	0,25	-	-	-	-
0	39	-	-	-	-	-	-	-	-
0	40	-	7,56	N	1,34	-	-	NE	3,00
0	41	-	-	SE	1,33	-	-	-	-
0	42	-	-	SE	1,33	-	-	-	-
0	43	-	0,95	-	-	-	-	-	-
0	44	-	1,73	-	-	-	-	-	-

Tabela 0.7. Paredes externas do primeiro piso.

Descrição			Paredes Externas	
Piso	Zona	Clim.	Ori.	A [m ²]
1	45	Sim	SE	6,45
1	46	Sim	SE	7,65
1	47	Sim	-	-
0/1	48	Sim	N	4,2
1	49	Sim	-	-
1	50	Sim	SE	5,52

Tabela 0.8. Envoltivo do primeiro andar.

Descrição		Parede com Espaço Não Clim.	Cobertura com Espaço Não Clim.	Cobertura Exterior	Envidraçados		Portas			
					Ext.	Clarabóia	Ext.	Int.		
Piso	Zona	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	A [m ²]	Ori.	A [m ²]	A [m ²]
1	45	9,11	-	20,01		-	0,63	-	-	-
1	46	5,30	-	21,94		-	0,63	-	-	-
1	47	12,55	-	33,93		-	0,48	-	-	-
0/1	48	5,43	5,81	-	N	0,09	-	-	-	-
1	49	0,97	5,15	-		-	-	-	-	-
1	50	0,64	12,20	-	SE	1,57	-	SE	1,03	-

ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS, ANTES E DEPOIS DA REABILITAÇÃO

Características Antes da Reabilitação

- PE.1 – Parede exterior de 60 cm, alvenaria ordinária de calcário, constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 54 cm de alvenaria de calcário e 3 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 1,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PE.2 – Parede exterior de 22 cm, alvenaria ordinária de calcário (PTP), constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 16 cm de alvenaria de calcário e 3 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 2,56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PI.1 – Parede interior de 50 cm, alvenaria ordinária de calcário, constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 44 cm de alvenaria de calcário e 3 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 1,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PI.2 – Parede interior de 16 cm, alvenaria ordinária de calcário, constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 10 cm de alvenaria de calcário e 3 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 2,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PI.3 – Parede interior de 10 cm, alvenaria ordinária de calcário, constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 4 cm de alvenaria de calcário e 3 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 2,69 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PV.1 – Pavimento com chão de 10 cm, constituído por 10 cm de cimento. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 3,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PVC.1 – Pavimento de compartimentação interior de 27 cm, constituído por 1,5 cm de estuque, 1,5 cm de madeira, 22 cm de espaço de ar e 2 cm de madeira. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 1,47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 1,22 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PVC.2 – Pavimento de compartimentação interior de 26 cm, constituído por 2 cm de madeira, 22 cm de espaço de ar e 2 cm de madeira. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 1,46 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 1,21 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

- CE.1 – Cobertura exterior de 1,5 cm, constituída por telhas em que se considera uma resistência de zero, e 1,5 cm de contraplacado que é o contabilizado no cálculo. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 5,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 3,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- CI.1 – Cobertura interior de 2 cm, constituída por 2 cm de madeira. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 2,11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- POE.1 – Porta exterior de 3 cm, constituída por 3 cm de madeira. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 2,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- POI.1 – Porta interior de 3 cm, constituída por 3 cm de madeira O coeficiente de transmissão térmica é $U = 2,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- E.1 – Envidraçado simples interior com caixilharia em madeira com portadas em madeira com lâmina de vidro de 3 mm. Os coeficiente de transmissão térmica são $U_w = 5,10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{w\text{-dn}} = 3,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Características Depois da Reabilitação

- PE.2.1 – Substitui a PE.2. Parede exterior de 24,5cm, alvenaria ordinária de calcário (PTP), constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 16 cm de alvenaria de calcário, 4 cm de XPS e 1,5 cm de contraplacado. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 0,67 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PI.2.1 – Substitui a PI.2. Parede interior de 18,5 cm, alvenaria ordinária de calcário, constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 10 cm de alvenaria de calcário 4 cm de XPS e 1,5 cm de contraplacado. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 0,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PI.3.1 – Substitui a PI.3. Parede interior de 12,5 cm, alvenaria ordinária de calcário, constituída por 3 cm de argamassa de cal e areia, 4 cm de alvenaria de calcário 4 cm de XPS e 1,5 cm de contraplacado. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 0,68 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- PV.1.1 – Substitui o PV.1. Pavimento com 18 cm, constituído por 10 cm de cimento, 4 cm XPS, 2 de espaço de ar e 2 cm de madeira. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

-
- PVC.1.1 – Substitui o PVC.1. Pavimento de compartimentação interior de 27 cm, constituído por 1,5 cm de estuque, 1,5 cm de madeira, 6 cm de XPS, 16 cm de espaço de ar e 2 cm de madeira. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 0,43 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
 - PVC.2.1 – Substitui o PVC.2. Pavimento de compartimentação interior de 26 cm, constituído por 2 cm de madeira, 6 cm de XPS, 16 cm de espaço de ar e 2 cm de madeira. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 0,43 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
 - CE.1.1 – Substitui a CE.1. Cobertura exterior de 7,5 cm, constituída por telhas em que se considera uma resistência de zero, 6 cm de XPS e 1,5 cm de contraplacado. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 0,55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 0,53 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
 - CI.1.1 – Substitui a CI.1. Cobertura interior de 8 cm, constituída por 6 cm de XPS e por 2 cm de madeira. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_{\text{ascendente}} = 0,51 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{descendente}} = 0,48 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
 - E.1.1 – Substitui E.1. Janela dupla de vidro simples com caixilharia em madeira, com lâminas de vidro de 3 mm e portada em madeira na janela mais interior. Os coeficientes de transmissão térmica são $U_w = 2,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{w\text{-dn}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.