



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise da influência da inércia térmica no desempenho energético dos edifícios de serviços

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

Autor

David João Alves Mateus

Orientador

Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo

Júri

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

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

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

Coimbra, Janeiro, 2011

“Não vá por onde o caminho o leva,
vá por onde não haja caminho e deixe um rasto”

Ralph Waldo Emerson

Aos meus pais,
Fernando Alves e Aida Alves,
pelo apoio incondicional.

Agradecimentos

Se este é um fim de uma etapa, é também o início de uma outra. Neste que é o culminar de muitos anos de percurso escolar, há várias pessoas que importa relembrar por tudo o que representam na minha vida e por tudo o que ajudaram neste percurso.

Evidentemente aos meus pais e irmão que nunca me faltaram com nada e sempre estiveram presentes, à minha namorada por tudo o que representa, ao Rui e à Marta, à Ângela e ao Pedro e a todos os meus amigos, a todos sem excepção, os mais sentidos agradecimentos.

Por fim, uma palavra de grande admiração e gratidão para com o Professor Doutor António Raimundo que, além de um excelente orientador, foi uma pessoa extremamente interessada, prestável e sempre bem-disposta, o que motiva sempre na elaboração de um projecto.

Obrigado!

(David João Alves Mateus)

Resumo

Uma parte significativa dos custos associados ao funcionamento de um edifício de serviços deve-se aos gastos de energia com a climatização. Assim sendo, a necessidade da sua redução torna-se importante no sentido da poupança de energia e claro está, na poupança monetária.

De entre as várias características construtivas de um edifício com influência no seu consumo de energia para climatização destacam-se a sua “arquitectura solar passiva”, a área, propriedades, orientação solar e sombreamentos dos envidraçados, a área e o coeficiente de transferência superficial das soluções construtivas e a inércia térmica do edifício. Este trabalho tem como objectivo caracterizar o comportamento energético de um edifício de serviços quando sujeito a diferentes tipos de construção em termos de inércia térmica, tentando assim verificar se existe um nível de inércia mais adequado para cada tipo de uso do edifício.

Para execução deste estudo foram considerados dois edifícios de serviços com utilizações muito distintas, um com ocupação permanente (um lar de idosos) e outro com ocupação intermitente (um supermercado). Para cada edifício, através da alteração das soluções construtivas, foram implementadas três classes de inércia (forte, média e fraca). Foi ainda estudada a influência da existência ou não de arrefecimento gratuito (*freecooling*) e de recuperação do calor contido no ar de rejeição. Para a realização deste trabalho recorreu-se ao software de simulação do comportamento energético de edifícios *EnergyPlus*.

A análise de resultados foi efectuada com base nos consumos anuais de energia para climatização e nas suas componentes para aquecimento e para arrefecimento. Considerou-se que cada edifício poderia ter inércia térmica forte, média ou fraca e que em todos estes casos poderia existir ou não *freecooling* ou recuperação de calor do ar de rejeição ou ambos.

Palavras-chave: Inércia térmica, Eficiência térmica em edifícios, Estratégias para redução de consumos.

Abstract

A significant part of the costs associated with the operation of a service building is due to the energy expenditure for HVAC. Thus, the need for its reduction becomes important to energy saving and of course, for monetary savings.

Among the several constructive characteristics of a building that have an influence on their energy consumption for HVAC stands out its “passive solar design”, its area, properties, solar orientation, shading of its glazing area, the surface constructive solutions coefficient and the thermal inertia of the building. The aim of this paper is to characterize the energy behavior of a service building when subjected to different types of construction in terms of thermal inertia, trying to see if there is a level of inertia more appropriate to each type of use from the building.

To implement this study were included two services buildings with very different uses, one with a permanent occupation (a nursing home) and another with intermittent occupancy (a supermarket). For each building, through the modification of constructive solutions, have been implemented three classes of inertia (strong, medium and weak). It was also studied if there is an influence in the presence of freecooling and heat recovery. For this work it was used simulation building energy performance software EnergyPlus.

The result analysis was based on annual consumption for air conditioning and its components for heating and cooling. It was considered that each building could have strong thermal inertia, medium or weak and that all this cases could exist or not freecooling or heat recovery or both.

Keywords Thermal inertia, Buildings thermal efficiency, Strategies for low energy buildings.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e Siglas	ix
Simbologia.....	ix
Siglas	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Consumo de energia nos edifícios	1
1.2. Objectivo.....	3
2. Simulação dinâmica do comportamento térmico de edifícios.....	5
2.1. Metodologias de simulação do comportamento térmico de edifícios.....	5
2.1.1. Metodologias de cálculo.....	6
2.1.2. Softwares disponíveis de simulação dinâmica multi-zona.....	6
2.2. Parametização e simulação com o <i>EnergyPlus</i>	6
2.2.1. O enquadramento climático do edifício.....	7
2.2.2. O zonamento.....	7
2.2.3. Modelação da arquitectura do edifício	8
2.2.4. Bases de dados de materiais e de soluções construtivas.....	8
2.2.5. Contabilização de sombreamentos solares	8
2.2.6. Padrões de utilização e funcionamento	9
2.2.7. Simulação e pós-processamento.....	9
3. Resultados e discussão	11
3.1. Enquadramento climático dos edifícios em estudo.....	11
3.2. Edifício com ocupação permanente - Lar para idosos.....	11
3.2.1. Descrição do edifício	12
3.2.2. Zonamento	13
3.2.3. Padrões de utilização e funcionamento	17
3.2.4. Soluções construtivas para inércia forte, média e fraca.....	20
3.2.5. Análise e comparação de resultados.....	24
3.2.6. Influência dos sistemas de <i>freecooling</i> e de recuperação de calor	27
3.2.7. Notas conclusivas	32
3.3. Edifício com ocupação intermitente cíclica - Supermercado	33
3.3.1. Descrição do edifício	33
3.3.2. Zonamento	34
3.3.3. Padrões de utilização e funcionamento	35
3.3.4. Soluções construtivas para inércia forte, média e fraca.....	37
3.3.5. Análise e comparação de resultados.....	41
3.3.6. Influência do sistema de <i>freecooling</i> e de recuperação de calor	43
3.3.7. Notas conclusivas	45
3.4. Relação entre inércia térmica, perfil de utilização e consumo de energia.....	46
4. Conclusões.....	48
5. Referências bibliográficas	50
Anexo A - Características do edifício com ocupação permanente - lar para idosos.....	51

Anexo B - Características do edifício com ocupação intermitente cíclica - supermercado 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desagregação dos consumos de energia final em Portugal (Fonte: ADENE 2002).	1
Figura 2. Desagregação dos consumos de energia final em Edifícios Residenciais (Fonte: ADENE 2002).	2
Figura 3. Desagregação dos consumos de energia final em Edifícios de Serviços em 2000 (Fonte: CEEETA).	2
Figura 4. Edifício com ocupação permanente em estudo (Representação no <i>DesignBuilder</i>).	12
Figura 5. Planta e Zonamento da Cave.	14
Figura 6. Planta e Zonamento do Rés-do-chão.	15
Figura 7. Planta e Zonamento do primeiro andar.	15
Figura 8. Consumos anuais de energia para aquecimento no piso Zero.	25
Figura 9. Consumos anuais de energia para arrefecimento no piso Zero.	26
Figura 10. Consumos anuais de energia para aquecimento no piso Um.	26
Figura 11. Consumos anuais de energia para arrefecimento no piso Um.	27
Figura 12. Consumos anuais totais de energia para climatização do edifício.	28
Figura 13. Consumos anuais de energia para aquecimento do edifício.	29
Figura 14. Consumos anuais de energia para arrefecimento do edifício.	30
Figura 15. Edifício com ocupação intermitente em estudo (Representação no <i>DesignBuilder</i>).	33
Figura 16. Planta e zonamento do supermercado.	34
Figura 17. Consumos anuais de energia para climatização (arrefecimento).	43
Figura 18. Consumos anuais de energia para climatização (aquecimento).	43
Figura 19. Consumos anuais totais de energia para climatização do edifício.	44
Figura 20. Planta da Cave.	53
Figura 21. Planta do Rés-do-chão.	53
Figura 22. Planta do Primeiro andar.	54
Figura 23. Alçado Sudoeste.	54
Figura 24. Alçado Nordeste.	54
Figura 25. Alçado Noroeste.	54
Figura 26. Alçado Sudeste.	55
Figura 27. Corte do edifício.	55
Figura 28. Consumos totais de energia do Rés-do-chão com inércia forte (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).	55
Figura 29. Consumos totais de energia do Primeiro piso com inércia forte (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).	56
Figura 30. Consumos totais de energia do Rés-do-chão com inércia média (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).	56
Figura 31. Consumos totais de energia do Primeiro andar com inércia média (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).	56
Figura 32. Consumos totais de energia do Rés-do-chão com inércia fraca (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).	57

Figura 33. Consumos totais de energia do Primeiro andar com inércia fraca (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	57
Figura 34. Alçado Sul (Supermercado).....	58
Figura 35. Alçado Norte (Supermercado).....	58
Figura 36. Alçado Este (Supermercado).....	59
Figura 37. Alçado Oeste (Supermercado).....	59
Figura 38. Corte (Supermercado).....	59
Figura 39. Consumos de energia para arrefecimento com inércia forte (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	59
Figura 40. Consumos de energia para aquecimento com inércia forte (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	60
Figura 41. Consumos de energia para arrefecimento com inércia média (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	60
Figura 42. Consumos de energia para aquecimento com inércia média (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	60
Figura 43. Consumos de energia para arrefecimento com inércia fraca (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	61
Figura 44. Consumos de energia para aquecimento com inércia fraca (<i>freecooling</i> + recuperação de calor).....	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização das zonas da Cave e do Rés-do-chão.	16
Tabela 2. Caracterização das zonas da Cave e do Rés-do-chão (continuação).	16
Tabela 3. Caracterização das zonas do Primeiro andar.	17
Tabela 4. Caracterização das zonas do Primeiro andar (continuação).	17
Tabela 5. Ocupação e densidades máx. de iluminação, equipamentos e caudais de ar novo em cada zona.	19
Tabela 6. Classe de Inércia Térmica segundo o RCCTE (Decreto-Lei 80/2006)	20
Tabela 7. Edifício com inércia térmica forte.	22
Tabela 8. Edifício com inércia térmica média.	23
Tabela 9. Edifício com inércia térmica fraca.	24
Tabela 10. Total dos consumos de aquecimento e arrefecimento	25
Tabela 11. Desagregação dos consumos de energia por piso para Inércia Forte	30
Tabela 12. Desagregação dos consumos de energia por piso para Inércia Média.	31
Tabela 13. Desagregação dos consumos de energia por piso para Inércia Fraca.	31
Tabela 14. Caracterização das zonas do supermercado.	35
Tabela 15. Caracterização das zonas do supermercado (continuação).	35
Tabela 16. Ocupação e densidades máx. de iluminação, equipamentos e caudais de ar novo em cada zona.	37
Tabela 17. Edifício com inércia térmica fraca.	39
Tabela 18. Edifício com inércia térmica média.	40
Tabela 19. Edifício com inércia térmica forte.	41
Tabela 20. Total dos consumos de energia para climatização (arrefecimento) do edifício.	42
Tabela 21. Consumos de energia para climatização na situação de inércia térmica forte.	44
Tabela 22. Consumos de energia para climatização na situação de inércia térmica média.	44
Tabela 23. Consumos de energia para climatização na situação de inércia térmica fraca.	45
Tabela 24. Caracterização dos espaços localizados na Cave.	51
Tabela 25. Caracterização dos espaços localizados no Rés-do-chão.	51
Tabela 26. Caracterização dos espaços localizados no Primeiro andar.	52
Tabela 27. Caracterização dos espaços do supermercado.	58

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

A – Área [m^2]

COP – Eficiência nominal de uma máquina frigorífica / bomba de calor em modo de aquecimento

EER – Eficiência nominal de uma máquina frigorífica / bomba de calor em modo de arrefecimento

It – Índice de Inércia [kg/m^2]

m_{pi} – Massa do pano interior

M_{si} – Massa superficial útil do elemento

r – Coeficiente do revestimento interior

S_i – Área da superfície interior do elemento

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

Siglas

ADENE – Agência para a Energia

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CEEETA – Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente

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

PPD – *Percentage of People Dissatisfied* (Porcentagem de pessoas insatisfeitas)

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade dos Ar Interior dos Edifícios

1. INTRODUÇÃO

A energia é um dos grandes motivos em discussão na actualidade. A grande dependência dela leva a que grandes desenvolvimentos sejam feitos no sentido da diversificação da sua produção e do aumento da eficiência dos equipamentos produtores. Outro aspecto ultimamente em destaque é a permanente procura e aperfeiçoamento de sistemas e de medidas que levem à redução do consumo de energia, nomeadamente pelos edifícios.

1.1. Consumo de energia nos edifícios

Os edifícios são responsáveis por uma grande parte dos consumos energéticos em Portugal. Conforme se pode observar na Figura 1, em 2002 os edifícios residenciais e de serviços foram responsáveis por cerca de 22% do consumo de energia nacional (ADENE, 2002). É assim evidente o grande impacto energético que pode resultar de um adequado projecto, execução e funcionamento dos edifícios, aspectos que podem ser facilmente analisados com uma simulação dinâmica adequada.

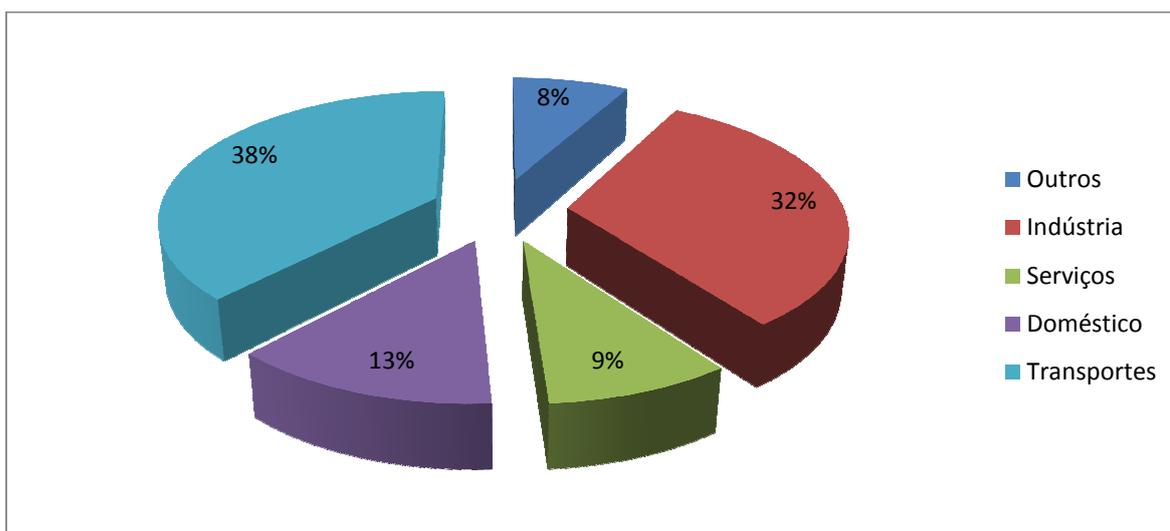


Figura 1. Desagregação dos consumos de energia final em Portugal (Fonte: ADENE 2002).

Conforme se pode observar nas Figuras 2 e 3 seguintes, um processo grande consumidor de energia nos edifícios em Portugal é a climatização, representando 17% dos consumos nos edifícios residenciais.

Na Figura 3 podemos verificar que os consumos energéticos apresentam grandes variações consoante o uso do edifício, sendo que no que respeita à climatização esta poderá ser responsável por cerca de 70% dos consumos de energia de uma agência bancária.

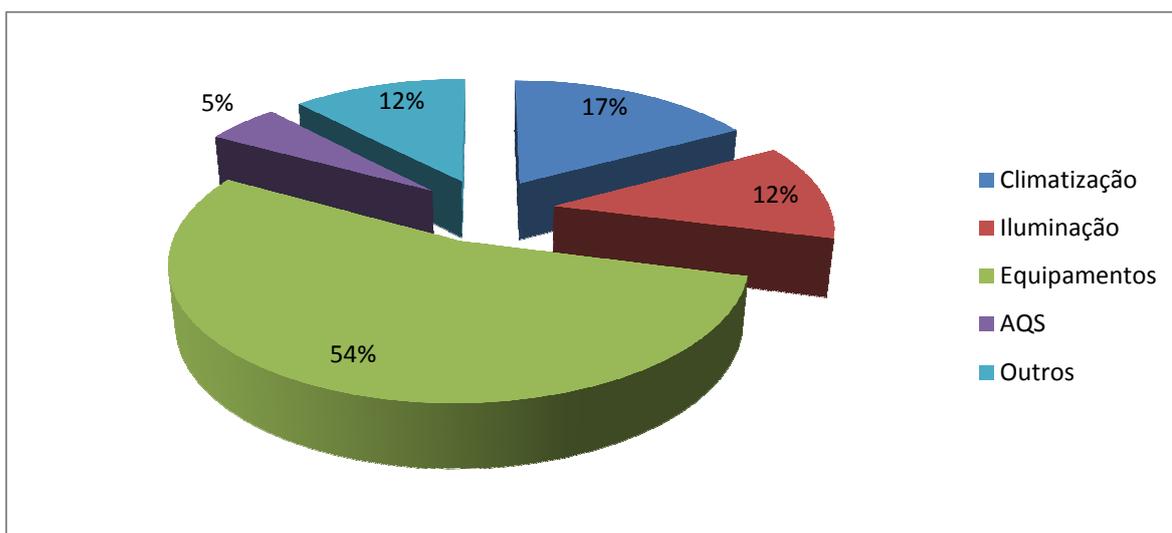


Figura 2. Desagregação dos consumos de energia final em Edifícios Residenciais (Fonte: ADENE 2002).

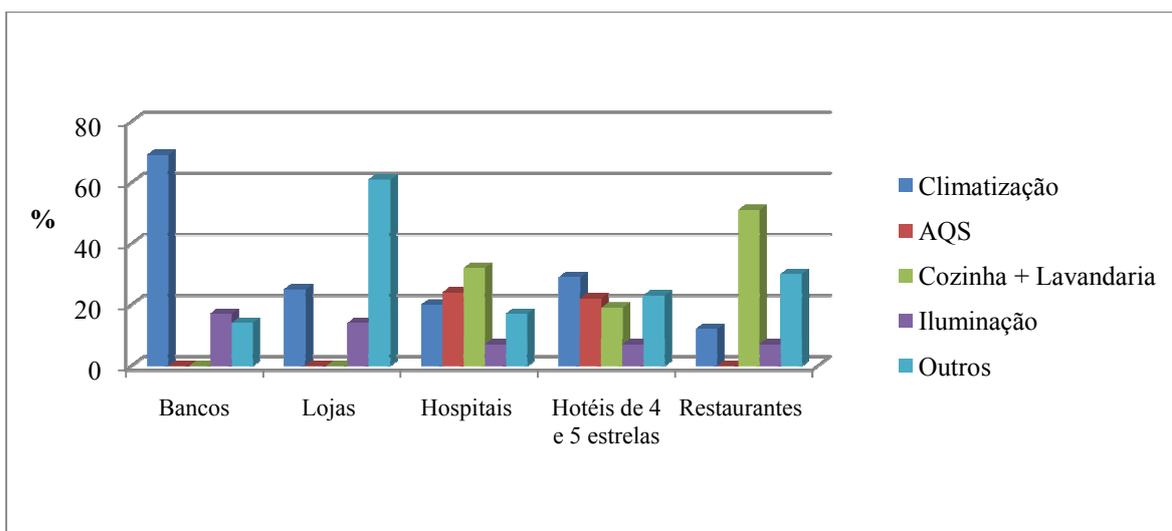


Figura 3. Desagregação dos consumos de energia final em Edifícios de Serviços em 2000 (Fonte: CEEETA).

Através dos elementos retratados anteriormente é perceptível a grande influência da climatização nos consumos energéticos dos edifícios. Esta análise é

importante no sentido que permite identificar onde se podem diminuir os consumos para conseguir uma maior eficiência e a redução da factura energética.

Baseado nas Figuras 2 e 3 verifica-se que a responsabilidade pelos maiores consumos varia, consoante o tipo de utilização dado ao edifício. A iluminação, fruto das grandes densidades instaladas, por exemplo em centros comerciais, locais onde a iluminação é vista como essencial para a atracção de público, pode apresentar percentagens muito elevadas em relação aos consumos totais. Outro aspecto a ter em conta é referente ao consumo de energia para preparação de AQS (águas quentes sanitárias). Pelos motivos óbvios e excluindo piscinas e espaços desportivos, em termos percentuais o consumo de AQS é mais relevante no sector doméstico do que no de serviços, embora se deva referir a grande importância destes consumos no que refere a hotéis e hospitais.

1.2. Objectivo

Este trabalho visa a análise da influência da inércia térmica no consumo de energia por parte dos edifícios de serviços e como é que esta característica pode ser benéfica para a implementação de sistemas de racionalização do consumo de energia do tipo arrefecimento gratuito (*freecooling*) e de recuperação de calor contido no ar de rejeição. Como se pensa que os benefícios da inércia térmica estão relacionados com o tipo de uso, são analisados dois edifícios com utilizações muito distintas, um edifício com funcionamento permanente (um lar para idosos) e um edifício com ocupação intermitente cíclica (um supermercado).

A inércia térmica pode ter uma grande influência consoante o edifício em estudo, isto é, um edifício com elevadas cargas térmicas e com ocupação intermitente tem forçosamente um comportamento, ao nível dos consumos, diferente de um edifício com cargas térmicas reduzidas e com ocupação permanente. Este trabalho pretende concluir se essa diferença de consumos pode ser “compensada” através de soluções construtivas diferentes.

A análise efectuada ao longo do texto é feita para dois edifícios distintos, um lar de idosos (ocupação permanente) e um supermercado (ocupação intermitente) tentando perceber qual o tipo de construção que se adequa mais a cada edifício e tipologia. Paralelamente é feita uma análise aos consumos para climatização. Através da inserção de mecanismos de poupança de consumos de energia para arrefecimento (*freecooling*) e de

consumos de energia para aquecimento (recuperação de calor do ar de rejeição é analisada a poupança conseguida e a sua relação com a inércia térmica do edifício e tipo de uso do mesmo.

Para realizar este estudo foi utilizado o programa *EnergyPlus*, software que permitiu parametrizar os edifícios em termos de arquitectura, das soluções construtivas, bem como dos mecanismos de redução de consumos e assim obter resultados que permitiram retirar as conclusões.

Resumindo, este trabalho tem como objectivo identificar qual a classe de inércia mais adequada para um tipo de edifícios com uso específico e quantificar a influência do *freecooling* e da recuperação de calor do ar de rejeição nos consumos para climatização e a sua relação com as diferentes soluções construtivas aplicadas.

2. SIMULAÇÃO DINÂMICA DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

Além da obrigatoriedade de ser feita no âmbito do RSECE, a simulação dinâmica é importante para verificar o comportamento térmico dos edifícios. Considerando um edifício novo aquando da fase de projecto, com a simulação pode ter-se uma ideia relativamente precisa dos consumos de energia que o mesmo provavelmente terá no futuro. Para o efeito é necessário conhecer previamente as soluções construtivas, a localização do edifício, a iluminação, todos os sistemas de climatização e ventilação e a ocupação, entre outros.

As metodologias de simulação dinâmica são essenciais no projecto de edifícios energeticamente eficientes. Esta eficiência é conseguida através de uma boa gestão do simulador, sendo que após a primeira análise de resultados será possível introduzir melhorias, de modo a que as perdas do edifício diminuam e que os consumos sejam também mais reduzidos. A simulação dinâmica é também fulcral no caso dos edifícios existentes, pois permite avaliar as poupanças energéticas e económicas associadas às diversas possibilidades de melhoria e, deste modo, avaliar a oportunidade da sua implementação.

2.1. Metodologias de simulação do comportamento térmico de edifícios

A nível internacional a simulação dinâmica de edifícios é uma temática a que muitos países têm dado grande relevo, tendo os organismos internacionais de normalização produzido várias normas sobre o assunto, como por exemplo a ISO 13790/2006. No seguimento disto apareceram vários programas “comerciais” para este efeito.

A nível nacional, a entrada em vigor da legislação que rege o SCE (Sistema Nacional de Certificação energética e da Qualidade dos Ar Interior dos Edifícios), consubstanciado pelos Decretos-Lei 78, 79 e 80 de 2006 e legislação complementar, veio

exigir o cálculo dos consumos de energia por parte dos edifícios residenciais e de serviços. Isto veio incentivar o desenvolvimento de software de simulação vocacionado para a realidade Portuguesa e à utilização, com as devidas adaptações, dos programas já existentes.

2.1.1. Metodologias de cálculo

A norma ISO 13790/2006 apresenta 5 (cinco) modelos para o cálculo do comportamento térmico de edifícios, a saber:

- Método mensal em regime quase permanente;
- Método sazonal em regime quase permanente, adoptado pelo RCCTE;
- Simulação dinâmica simplificada, adoptada pelo RSECE para pequenos edifícios de serviços;
- Método dinâmico multi-zona sem contabilização de transferências de energia entre zonas;
- Simulação dinâmica detalhada, exigida pelo RSECE para grandes edifícios de serviços.

2.1.2. Softwares disponíveis de simulação dinâmica multi-zona

O RSECE (DL 79/2006) exige que as simulações dinâmicas detalhadas dos edifícios realizadas no âmbito do SCE sejam efectuadas com programas devidamente acreditados segundo a Norma ASHRAE 140-2004. De entre os programas que cumprem este requisito destaca-se o *EnergyPlus*, desenvolvido pelo *DOE (USA Department of Energy)*, utilizado neste trabalho. Os outros programas acreditados são o TRANSYS, Espr-r, BLAST, HAP 4.31, TRACE 700, DOE-2, CLIM2000, CA-SIS, Visual DOE 4.1, SRES/SUM, S3PAS, TASE, SRES-BRE e o TRANSYS/TUD.

2.2. Parametrização e simulação com o *EnergyPlus*

Como já anteriormente referido, o *EnergyPlus* é um dos programas acreditados para o cálculo dos consumos energéticos dos edifícios. Neste programa são inseridos os

mais variados factores que podem influenciar o comportamento do edifício tais como a iluminação, ocupação, equipamentos, horários de funcionamento, entre outros.

2.2.1. O enquadramento climático do edifício

O meio onde se insere o edifício em estudo é um dos factores que mais influencia o seu comportamento térmico. Por exemplo em Portugal, é completamente diferente o comportamento a nível térmico de um edifício localizado no Norte do país de um no Sul ou mesmo de outro situado num dos arquipélagos (Madeira ou Açores). Da mesma forma, a orientação “solar” de um edifício ganha um peso dado que uma fachada orientada a Sul tem uma maior incidência da radiação solar do que uma orientada a Norte, onde os ganhos solares são muito reduzidos ou mesmo praticamente nulos.

A caracterização das condições ambientais exteriores a que o edifício está exposto é efectuada recorrendo a bases de dados climáticas relativas à localização do edifício. Estas bases de dados devem conter toda a informação necessária e suficiente para caracterizar em cada hora do ano o clima do local em questão. Infelizmente para Portugal só estão disponíveis bases de dados climáticas completas para oito localidades: Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal, Lajes, Lisboa e Porto.

2.2.2. O zonamento

Num edifício pode não ser viável a simulação de todos os seus espaços, pois, para além do tempo necessário para a introdução de dados e para a simulação, a informação obtida é exageradamente detalhada o que dificulta a sua análise. Para além disso, existem em todos os edifícios espaços com comportamento térmico e utilização muito semelhantes, não havendo nenhuma vantagem no seu estudo desagregado. Deste modo, numa simulação dinâmica é recomendado o agrupamento numa única zona dos espaços com características semelhantes (em termos de utilização, exposição solar, iluminação, etc.) e para os quais se prevê um comportamento térmico idêntico. Este processo é conhecido como zonamento e permite “representar” os espaços interiores do edifício através de um número limitado de “zonas”. O zonamento deve ser efectuada com muito cuidado pois a fiabilidade dos resultados obtidos com a simulação é fortemente dependente de um adequado zonamento.

2.2.3. Modelação da arquitectura do edifício

Neste campo é introduzida a estrutura global do edifício, é feita uma caracterização de onde se situam e quais as dimensões de todos os seus constituintes. De realçar que grande parte dos pormenores construtivos dos edifícios não têm qualquer impacto em termos do comportamento térmico do mesmo e nos seus consumos de energia. Deste modo cabe ao técnico responsável pela simulação, analisar o edifício e avaliar quais os pormenores que devem ou não ser considerados na simulação. Este processo designa-se por modelação e envolve a introdução no programa de uma representação adequada do edifício em termos de arquitectura, orientação geodésica, localização relativa e características geométricas das suas soluções construtivas. Obviamente que a precisão dos resultados obtidos com a simulação está intrinsecamente dependente da qualidade da modelação.

2.2.4. Bases de dados de materiais e de soluções construtivas

Após a modelação da arquitectura é necessária a caracterização dos constituintes de cada elemento construtivo. Por exemplo, numa parede são inseridos todos os materiais que a constituem conferindo-lhes a espessura e as suas propriedades termofísicas tais como a condutibilidade térmica, a massa específica e o calor específico. O processo é repetido para todos os elementos construtivos opacos. Para os elementos semitransparentes (envidraçados, etc.) é necessário especificar o tipo de vidro e a sua espessura, a composição do elemento que completa o envidraçado e as dimensões dos obstáculos que possam existir a perturbar a incidência de radiação solar no envidraçado.

No caso de já se encontrarem especificados na base de dados específica do programa, as características termofísicas dos materiais são automaticamente incluídas a partir da sua designação. No caso de um determinado material opaco ou translúcido ainda não se encontrar definido na base de dados, o utilizador deve previamente introduzi-lo antes de o poder seleccionar.

2.2.5. Contabilização de sombreamentos solares

Dados como a posição do vão envidraçado em relação à parede onde está situado, são essenciais para a contabilização de ganhos solares. Quando um vão

envidraçado está contido na parede, esta pode ou não funcionar, como sombreamento. Para além disto, os envidraçados podem ser sombreados por obstáculos exteriores ao edifício (relevo, outros edifícios, árvores, etc.) e do próprio edifício (palas horizontais e verticais, varandas, beirados, fachadas, etc.).

No programa a contabilização dos diversos sombreamentos é efectuada introduzindo as características, localização e dimensão de todos os obstáculos que possam sombrear os envidraçados (e soluções construtivas equivalentes) do edifício, contabilizando automaticamente o efeito destes nos envidraçados.

2.2.6. Padrões de utilização e funcionamento

Estes perfis são utilizados para definir os períodos de utilização e funcionamento de todos os elementos do edifício. Considerando os consumos para climatização, estes têm um peso muito acentuado nos edifícios de serviços, logo necessitam de uma parametrização rigorosa. Os padrões permitem a representação adequada do funcionamento do edifício ao longo do ano e são utilizados sempre que a utilização de uma zona ou o funcionamento de um determinado equipamento apresente variação com a hora do dia, com período do ano, etc. Os padrões são formados pelas densidades máximas e pelos perfis de funcionamento. As densidades representam o valor máximo da carga de funcionamento de uma zona ou da potência de um equipamento. Os perfis indicam a percentagem do valor máximo a considerar em cada hora.

Para simular com rigor um edifício é necessário especificar para cada zona, em que se compartimentou o edifício, os padrões de utilização, de iluminação, de utilização de equipamentos, de ventilação e de funcionamento dos sistemas de climatização. Adicionalmente é necessário especificar também para cada zona os valores máximos e mínimos a garantir da temperatura e humidade relativa do ar interior (*set-points* da temperatura e humidade do ar) que os sistemas de climatização têm que assegurar. Opcionalmente pode não ser feita qualquer imposição de *set-points*.

2.2.7. Simulação e pós-processamento

Após uma cuidada introdução de toda a informação necessária à simulação, passa-se à fase de selecção dos resultados que o programa deve imprimir em formato

Microsoft Excel (ou programa compatível) para análise posterior. Da simulação com o *EnergyPlus* resulta uma vasta gama de previsões que vão desde informação global para todo o edifício a valores específicos para cada zona do mesmo. Os resultados podem ser disponibilizados como valores anuais, mensais, semanais, horários ou para períodos de tempo especificados pelo operador. De entre a vasta informação que é possível analisar destacam-se as características climáticas exteriores, os diversos ganhos térmicos, os consumos de energia para os mais diversificados fins, as várias perdas térmicas e um vasto conjunto de variáveis relacionadas com o conforto dos ocupantes (temperatura e humidade do ar interior, PMV, PPD, etc.). Deste modo e para não se ter disponível mais informação da que é viável analisar, recomenda-se uma escolha criteriosa das previsões do programa que se vão analisar.

Através de uma interface gráfica, o *DesignBuilder*, é possível representar o edifício em três dimensões, minimizando assim possíveis erros na inserção de dados. Esta ferramenta é extremamente útil na medida em que facilita a modelação do edifício bem como reduz a complexidade do estudo.

A simulação permite assim propor melhorias para o edifício substituindo alguns elementos construtivos de modo a minimizar os consumos de energia e/ou a melhorar o conforto térmico dos ocupantes. Tendo o edifício no simulador, facilmente se introduz um novo sistema de climatização ou se muda o tipo de vãos envidraçados existentes permitindo assim conseguir-se analisar a influência destes elementos no edifício.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estando conscientes de que a tipologia de uso tem uma importância preponderante no consumo de energia por parte de um edifício de serviços e, deste modo, também será diferente a influência da inércia térmica no desempenho energético do mesmo, optou-se por analisar dois edifícios de utilização muito distinta. Neste sentido seleccionou-se um edifício com ocupação permanente (um lar de idosos) e um edifício com ocupação intermitente cíclica (um supermercado).

Ambos os edifícios serão analisados para diferentes categorias de inércia térmica. Para o efeito utilizaram-se as três categorias definidas no RCCTE (Decreto-Lei 80/2006), ou seja, inércia térmica forte, média e fraca. Adicionalmente e para avaliar o impacto de duas das medidas de melhoria da eficiência energética impostas pelo RSECE (Decreto-Lei 79/2006) para os edifícios com sistemas de ventilação acima de determinados valores, o comportamento energético dos dois edifícios foi também analisado assumindo a existência ou não de sistemas de recuperação do calor contido no ar de rejeição e a existência ou não de sistemas de arrefecimento gratuito (*freecooling*).

3.1. Enquadramento climático dos edifícios em estudo

Como se trata de uma comparação entre dois edifícios a sua localização tem de ser a mesma, tendo sido escolhida uma implantação dos mesmos na periferia da cidade de Coimbra.

3.2. Edifício com ocupação permanente - Lar para idosos

O edifício de ocupação permanente em apreço (lar de idosos) desenvolve-se em três pisos, Cave, Rés-do-chão e Primeiro andar e encontra-se representado na Figura 4. A cave é composta pelas salas de máquinas, espaços para arrecadações e depósitos de roupa. Nos pisos superiores existem zonas de quartos e salas de estar, sendo que no Rés-do-chão existe ainda uma cozinha, uma sala de refeições, balneários, instalações sanitárias

de uso geral e arrumos. No Primeiro piso existem gabinetes, salas de estar, zonas de quartos, sala de reuniões, instalações sanitárias e espaços para arrumos.

O edifício foi projectado para albergar 36 pessoas, das quais 28 podem estar acamadas. Para o efeito estão previstos 8 quartos simples (4 no Rés-do-chão e 4 no Primeiro piso) e 10 quartos duplos (5 no Rés-do-chão e 5 no Primeiro piso). No Anexo A apresentam-se os desenhos com uma representação mais detalhada deste edifício, nomeadamente as plantas dos pisos, fachadas, cortes, etc.

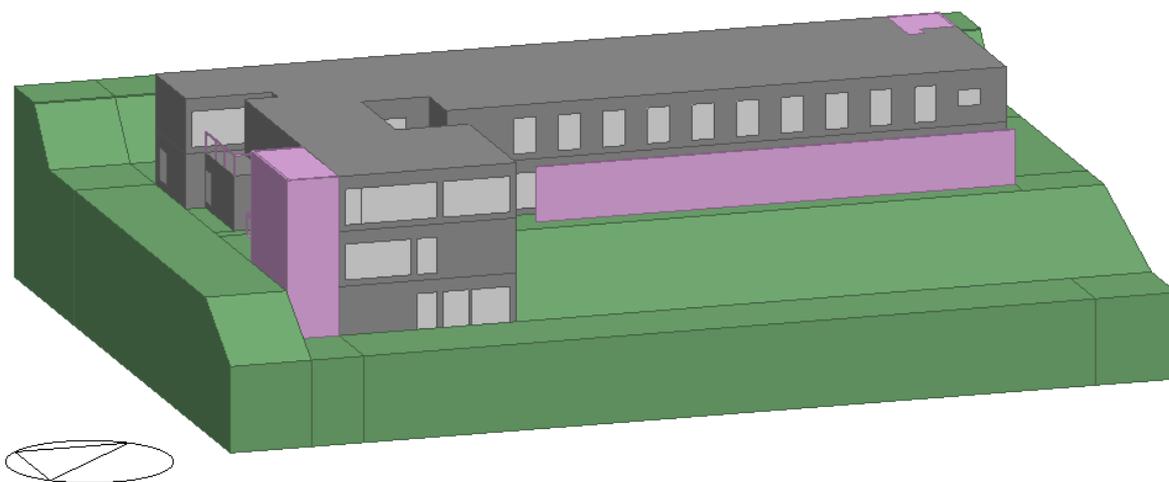


Figura 4. Edifício com ocupação permanente em estudo (Representação no *DesignBuilder*).

A Cave do edifício encontra-se enterrada excepto do lado das Fachadas voltadas a Sudeste e Sudoeste. Nas fachadas a Nordeste e Noroeste existe algum sombreamento devido à inclinação do terreno. No espaço a Sul do edifício existem árvores de folha caduca com uma altura média de 3 m (não representadas na Figura 4), as quais provocam sombreamentos nas fachadas do Rés-do-chão voltadas a Sudoeste e numa das fachadas a Sudeste, não tendo qualquer impacto ao nível de sombreamentos do Primeiro piso.

3.2.1. Descrição do edifício

O lar de idosos em apreço tem uma área bruta de pavimento de 1 427 m², sendo que 1 187,5 m² desta área é considerada como climatizada em virtude da sua ocupação frequente. O pé-direito médio é de 3 m. Apresenta-se nas Figuras 5, 6 e 7 as plantas correspondentes à Cave, Rés-do-chão e Primeiro piso, respectivamente.

A cave possui 183 m² sendo toda esta área não climatizada. No Rés-do-chão 588,5 m² são climatizados, sendo que nos balneários apenas existe aquecimento, e 40 m² não são climatizados (cozinha). No primeiro andar 599 m² são climatizados, apenas sendo os arrumos não climatizados, espaço com 16 m².

No Anexo A encontram-se Tabelas com a descrição detalhada de cada espaço deste edifício.

3.2.2. Zonamento

Como já foi referido anteriormente no Capítulo 2, a simulação dinâmica do comportamento térmico de um edifício de serviços exige a sua desagregação em zonas (zonamento), a qual deve ser efectuada de modo cuidado e apropriado à arquitectura do edifício em questão. No caso do edifício em apreço optou-se pelas zonas representadas nas Figuras 5, 6 e 7 seguintes. Para fazer este zonamento teve-se o cuidado de incluir em cada zona apenas espaços com características idênticas em termos de ocupação, utilização, climatização, ventilação e propriedades da envolvente exterior (onde se deu prioridade à exposição solar). Nenhuma das zonas se estende por mais do que um piso e não existe repetição entre as zonas de pisos diferentes.

- Considerou-se adequado incluir toda a Cave numa única zona (zona 1, referência - 1,1) por se tratar de espaços não climatizados e em que se prevê que tenham um comportamento idêntico.
- O Rés-do-chão foi fraccionado em 10 zonas (zonas 1 a 10, referências 0,1 a 0,10), em que a zona 1 inclui apenas uma sala de estar com fachada exterior orientada a Sudoeste, a zona 2 é uma zona de 4 quartos orientados a Nordeste, a zona 3 tem apenas um quarto voltado para Nordeste e Sudeste, a zona 4 é o espaço de circulação que dá acesso aos quartos sendo a fachada maioritariamente voltada a Sudeste e a Sudoeste, a zona 5 é composta por dois gabinetes orientados a Nordeste, a zona 6 é igual à zona 2 sendo esta voltada a Sudoeste, a zona 7 é orientada a Nordeste e Noroeste sendo composta por balneários, a zona 8 é a cozinha, orientada a Noroeste, a zona 9 é uma sala de estar com grande área de envidraçados com fachadas exteriores orientadas a Noroeste, Sudoeste e Sudeste e por fim a zona 10, orientada a Noroeste, Sudoeste, Sudeste e Nordeste, sendo composta pela zona da entrada e de circulações.

- O Primeiro piso foi também dividido em 10 zonas (zonas 1 a 10, referências 1,1 a 1,10), em que a zona 1 inclui 4 quartos com uma única fachada exterior voltada a Nordeste, a zona 2 tem apenas um quarto com orientação a Nordeste e Sudeste, a zona 3 é referente à sala de estar orientada a Sudoeste, a zona 4 tem iguais características à zona 4 representada no ponto anterior, a zona 5 é composta por 4 quartos orientados a Sudoeste, a zona 6 é voltada a Nordeste e é composta apenas por um arrumo, a zona 7 tem 2 gabinetes e uma sala de reuniões voltados a Nordeste e Noroeste, a zona 8 é composta por instalações sanitárias voltadas a Noroeste e as zonas 9 e 10 apresentam as mesmas características das zonas igualmente numeradas do ponto anterior.

Apresentam-se nas Tabelas de 1 a 4 seguintes as características de cada uma das zonas consideradas. Nestas são indicadas a área de pavimento (A_p), as orientações e áreas das paredes em contacto com o exterior, de parede e de pavimento em contacto com espaço não climatizado, de parede e de pavimento em contacto com o terreno, de envidraçados e de portas exteriores.

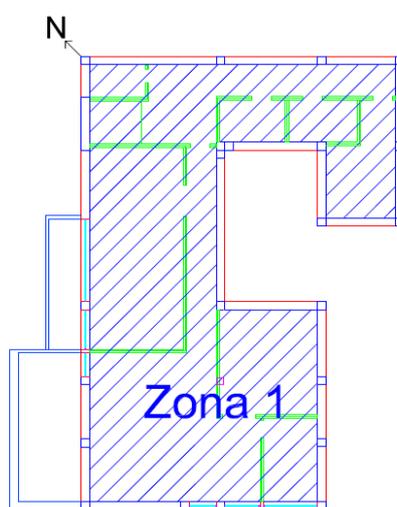


Figura 5. Planta e Zonamento da Cave.

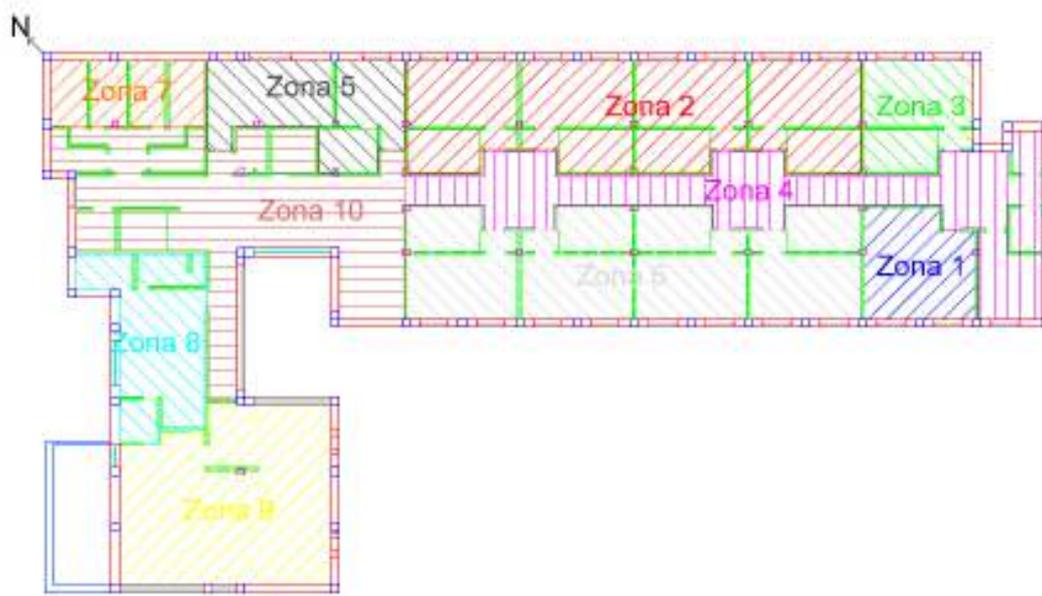


Figura 6. Planta e Zonamento do Rés-do-chão.

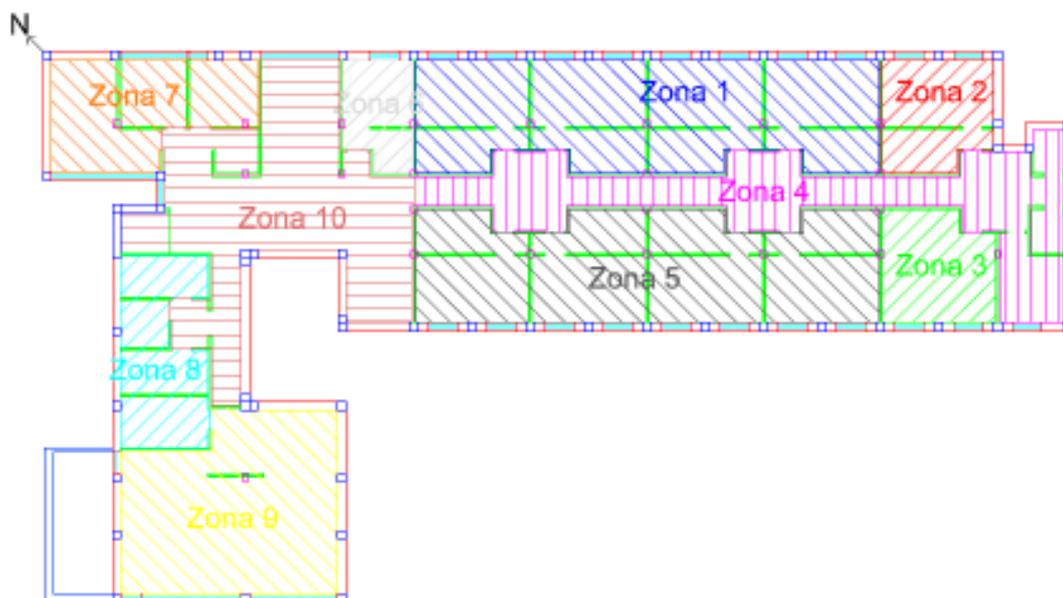


Figura 7. Planta e Zonamento do primeiro andar.

Tabela 1. Caracterização das zonas da Cave e do Rés-do-chão.

Descrição				Paredes exteriores								Parede em contacto com espaço não climatizado	Parede em contacto com o terreno
Piso	Zona	Ref.	A_p [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
-1	1	-1,1	183,11	SE	13,05	SW	19,16	NW	24,45	-	-	-	150,33
0	1	0,1	27,00	SW	8,44	-	-	-	-	-	-	-	-
0	2	0,2	103,20	NE	41,35	-	-	-	-	-	-	-	-
0	3	0,3	25,73	NE	8,11	SE	12,00	-	-	-	-	-	-
0	4	0,4	84,32	NE	5,66	NW	1,92	SE	26,01	SW	7,78	-	-
0	5	0,5	37,77	NE	20,91	-	-	-	-	-	-	-	-
0	6	0,6	104,32	SW	39,91	-	-	-	-	-	-	-	-
0	7	0,7	21,92	NE	20,73	NW	9,42	-	-	-	-	-	-
0	8	0,8	40,00	NW	22,89	SW	5,10	-	-	-	-	-	-
0	9	0,9	82,24	NW	15,95	SW	18,94	SE	25,74	NE	4,16	17,13	-
0	10	0,10	102,00	NW	23,08	SW	6,63	SE	7,14	SW	9,36	38,34	-

Tabela 2. Caracterização das zonas da Cave e do Rés-do-chão (continuação).

Descrição			Pavimento em contacto com o terreno	Pavimento em contacto com espaço não climatizado	Cobertura exterior	Envidraçados						Portas exteriores	
Piso	Zona	Ref.	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]
-1	1	-1,1	183,11	-	-	SW	11,44	NW	12,14	-	-	NW	2,15
0	1	0,1	27,00	-	-	SW	7,67	-	-	-	-	-	-
0	2	0,2	103,20	-	-	NE	24,11	-	-	-	-	-	-
0	3	0,3	25,73	-	-	NE	7,67	-	-	-	-	-	-
0	4	0,4	84,32	-	-	SE	1,38	SW	1,37	-	-	NE	2,05
0	5	0,5	37,77	-	-	NE	7,41	-	-	-	-	-	-
0	6	0,6	104,32	-	-	SW	24,11	-	-	-	-	-	-
0	7	0,7	21,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	8	0,8	2,94	37,06	2,94	NW	3,30	-	-	-	-	-	-
0	9	0,9	-	82,24	-	SW	11,67	SE	0,36	NE	8,29	NW	2,15
0	10	0,10	34,26	67,74	8,12	SW	8,34	SE	13,38	-	-	NW	2,15

Tabela 3. Caracterização das zonas do Primeiro andar.

Descrição				Paredes exteriores								Parede em contacto com espaço não climatizado	Cobertura exterior
Piso	Zona	Ref.	A_p [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
1	1	1,1	103,20	NE	41,35								103,20
1	2	1,2	25,73	NE	8,11	SE	12,00	-	-	-	-	-	25,73
1	3	1,3	27,00	SW	8,44	-	-	-	-	-	-	-	27,00
1	4	1,4	84,32	NE	5,66	NW	1,92	SE	26,01	SW	7,78	-	84,32
1	5	1,5	104,32	SW	39,91	-	-	-	-	-	-	-	104,32
1	6	1,6	15,71	NE	6,83	-	-	-	-	-	-	-	15,71
1	7	1,7	40,85	NE	19,46	NW	16,05	SW	3,95	-	-	-	40,85
1	8	1,8	31,57	NW	25,95	-	-	-	-	-	-	-	31,57
1	9	1,9	80,70	NW	15,95	SW	8,97	SE	26,10	NE	12,45	-	80,70
1	10	1,10	102,21	SW	21,87	SE	20,52	NE	8,16	NW	7,03	42,96	102,21

Tabela 4. Caracterização das zonas do Primeiro andar (continuação).

Descrição				Envidraçados						Portas exteriores	
Piso	Zona	Ref.	A_p [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]
1	1	1,1	103,20	NE	24,11	-	-	-	-	-	-
1	2	1,2	25,73	NE	7,67	-	-	-	-	-	-
1	3	1,3	27,00	SW	7,67	-	-	-	-	-	-
1	4	1,4	84,32	SE	1,38	SW	1,37	-	-	NE	2,05
1	5	1,5	104,32	SW	24,11	-	-	-	-	-	-
1	6	1,6	15,71	NE	3,01	-	-	-	-	-	-
1	7	1,7	40,85	NE	8,80	SW	10,87	-	-	-	-
1	8	1,8	31,57	-	-	-	-	-	-	-	-
1	9	1,9	80,70	SW	21,63	-	-	-	-	NW	2,15
1	10	1,10	102,21	NE	7,92	-	-	-	-	NW	2,15

3.2.3. Padrões de utilização e funcionamento

De modo a representar o funcionamento do edifício em condições minimamente realistas, houve algum cuidado na imposição dos padrões de utilização de cada uma das zonas. Embora existam algumas zonas que pelas suas características têm padrões de funcionamento idênticos, na maioria dos casos isso não acontece. Assim, foi necessário estabelecer para cada uma das zonas as cargas máximas e os perfis de funcionamento em termos de ocupantes, de iluminação, de utilização de equipamentos, de ventilação e de funcionamento dos sistemas de climatização. Adicionalmente foi necessário especificar também para cada zona os valores máximos e mínimos a garantir da

temperatura e humidade relativa do ar interior (*set-points* da temperatura e humidade do ar) que os sistemas de climatização têm que assegurar. Para realizar esta tarefa recorreu-se a informação disponível na literatura técnica em papel e na internet, à “experiência” pessoal e aos requisitos e sugestões do RSECE (Decreto-Lei 79/2006) para a tipologia mais semelhante de cada zona (na maior parte dos casos “estabelecimento de saúde com internamento”). Não sendo viável a apresentação detalhada desta informação (pelo nº de páginas que seria necessário para o efeito) apresenta-se a seguir apenas um resumo:

- A Cave (Ref. -1,1), a cozinha (Ref. 0,8) e o arrumo de material e equipamento (Ref. 1,6) são espaços onde não existe climatização;
- A ocupação máxima corresponde ao número máximo de pessoas previsto no projecto de arquitectura para essa zona;
- Existe ventilação mecânica em todos os espaços, a qual cumpre os requisitos mínimos impostos pelo RSECE para o caudal de ar novo;
- Apenas nos quartos existe climatização e ventilação durante as 24 horas do dia;
- Os espaços restantes são climatizados e ventilados entre as 7 e as 18 horas;
- Os balneários (Ref. 0,7) e as instalações sanitárias (Ref. 1,8) apenas têm aquecimento;
- No caso de existir *freecooling*, este só está activo quando a temperatura do ar exterior é pelo menos 4°C inferior à do ar interior e apenas durante os meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro;
- Nas zonas em que está disponível sistema de climatização impôs-se para o ar interior uma temperatura mínima de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura máxima de 25°C para a de arrefecimento, não sendo imposto qualquer *set-point* de temperatura nas zonas não climatizadas;
- Não foram impostos *set-points* para a humidade relativa do ar interior;
- Foi considerado um sistema de climatização baseado num Chiller / bomba de calor a água com recuperação de calor, sendo o aquecimento/arrefecimento dos espaços feito através de ventiloconvectores;
- No caso de existir, a recuperação de calor do ar de rejeição é efectuada com uma eficiência de 60% e só está activa entre o início do mês de Novembro e o fim do mês de Março (assume-se que durante os restantes meses é feito um *by-pass* ao recuperador);

- Foi considerado um *COP* igual a 4 para a função de aquecimento e um *EER* de 3 para arrefecimento.

Neste trabalho teve-se em conta o número máximo de ocupantes previsto para cada espaço no projecto de arquitectura. Foi considerada uma densidade instalada de iluminação de 7 W/m^2 nas zonas dos quartos, salas e gabinetes, 5 W/m^2 nas circulações, balneários e instalações sanitárias e 3 W/m^2 nos arrumos. Em relação aos equipamentos (não incluindo os de climatização e de ventilação) foi considerada uma densidade máxima de 10 W/m^2 em todos os espaços excepto na sala de reuniões e nos gabinetes onde foi assumida igual a 15 W/m^2 . Os caudais de ar novo foram estabelecidos através dos valores mínimos de ar novo estipulados pelo RSECE para cada tipologia de espaço, ou a mais semelhante possível no caso de não estar prevista no RSECE. Através de uma ponderação considerada adequada obtiveram-se para cada zona as densidades máximas de ocupação, de iluminação e de equipamentos (AVAC não incluído) e os caudais de ar novo a insuflar apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Ocupação e densidades máx. de iluminação, equipamentos e caudais de ar novo em cada zona.

Descrição	Ocupação		Iluminação		Equipamento		Caudal de ar novo [m ³ /h]
	Piso	Ref.	Nº ocupantes	kW	W/m ²	kW	
-1	-1,1	2	0,66	3,62	0,30	1,64	918,1
0	0,1	8	0,19	7,00	0,27	10,00	506,3
0	0,2	8	0,72	7,00	1,03	10,00	300,0
0	0,3	2	0,18	7,00	0,26	10,00	75,0
0	0,4	2	0,42	5,00	0,00	0,00	417,4
0	0,5	4	0,26	7,00	0,38	10,00	240,7
0	0,6	8	0,73	7,00	1,04	10,00	300,0
0	0,7	0	0,11	5,00	0,00	0,00	274,0
0	0,8	3	0,24	6,08	8,73	218,25	112,5
0	0,9	32	0,58	7,00	0,00	0,00	1 400,0
0	0,10	2	0,50	4,93	0,00	0,00	572,8
1	1,1	8	0,72	7,00	1,03	10,00	300,0
1	1,2	2	0,18	7,00	0,26	10,00	75,0
1	1,3	8	0,19	7,00	0,27	10,00	506,3
1	1,4	2	0,42	5,00	0,00	0,00	417,4
1	1,5	8	0,73	7,00	1,04	10,00	300,0
1	1,6	0	0,08	5,00	0,16	10,00	98,2
1	1,7	6	0,29	7,00	0,61	15,00	643,6
1	1,8	6	0,14	4,36	0,00	0,00	63,4
1	1,9	32	0,56	7,00	0,81	10,00	1 200,0
1	1,10	10	0,51	5,00	0,00	0,00	1 835,6

3.2.4. Soluções construtivas para inércia forte, média e fraca

Inicialmente pensou-se em considerar o edifício construído com determinados tipos de soluções construtivas e apenas alterar a sua densidade para desse modo obter a inércia desejada. Tal não foi feito por se considerar mais interessante realizar a análise da influência da inércia térmica no comportamento de edifícios recorrendo a soluções construtivas vulgarmente utilizadas em Portugal.

Como referência para definição da classe de inércia utilizaram-se os limites sugeridos pelo RCCTE (Decreto-Lei 80/2006), em que a inércia térmica de um edifício é definida como Forte, Média ou Fraca em função do índice de inércia (I_t) do mesmo, conforme se encontra especificado na Tabela 6. Este índice representa a razão entre a massa superficial útil das soluções construtivas associadas aos espaços úteis (conforme definidos pelo RCCTE) e a área de pavimento desses mesmos espaços.

Tabela 6. Classe de Inércia Térmica segundo o RCCTE (Decreto-Lei 80/2006)

Classe de Inércia	I_t [kg/m^2]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A constituição dos pilares, vigas, caixas de estore, parede em contacto com o terreno e envidraçados foi mantida independentemente da classe de inércia térmica pretendida para o edifício, apresentando-se a seguir a sua constituição (com os diversos elementos a serem especificados do exterior para o interior do espaço útil):

- Pilar exterior de 38 cm, constituído por 2 cm de reboco tradicional, 22 cm de betão armado, 1 cm de caixa-de-ar não ventilada, 4 cm de isolamento XPS, tijolo furado de 7 cm e 2 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica do pilar é $U = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Pilar interior de 31 cm, constituído por 2 cm de argamassa de reboco tradicional, 20 cm de betão armado, 4 cm de isolamento XPS, tijolo furado de 4 cm e 2 cm de argamassa de cal e areia. O coeficientes de transmissão térmica da parede é $U = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Caixa de estore de 38 cm, constituída por 2 cm de argamassa de cal e areia, 5 cm de betão armado, 20 cm de espaço de ar fortemente ventilado, 4 cm de isolamento

- XPS, 5 cm de betão armado e 2 cm de argamassa de cal e areia, com $U = 0,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Vigas exteriores com 38 cm, constituídas por 2 cm de argamassa de reboco tradicional, 20 cm de betão armado, 3 cm de caixa-de-ar não ventilada, 4 cm de isolamento XPS e 2 cm de argamassa de cal e areia, com $U_{\text{ascendente}} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{\text{descendente}} = 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
 - Parede em contacto com o terreno com 29 cm constituída por 20 cm de betão armado, 4 cm de isolamento XPS, tijolo furado de 4 e 1 cm de gesso cartonado, com $U = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
 - Envidraçados simples exteriores constituídos por alumínio com corte térmico e vidro duplo (vidros exterior e interior com 4 mm e lâmina de ar de 6 mm) incolor e com protecção exterior constituída por persianas de réguas horizontais plásticas. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Foram utilizadas as seguintes soluções construtivas para a obtenção de Inércia térmica Forte, em que os sucessivos materiais estão especificados do exterior para o interior:

- Parede exterior de 38 cm, constituída por 2 cm de reboco, tijolo furado de 20 cm, 1 cm de caixa-de-ar, 4 cm de isolamento XPS, tijolo furado de 9 cm e 2 cm de argamassa de cal de areia. O coeficiente de transmissão térmica superficial da parede é $U = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Parede de compartimentação interior com 16 cm, composta por 1 cm de gesso cartonado de ambos os lados, tijolo furado de 11 cm e 3 cm de isolamento (lã de rocha), $U = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Pavimento com 38 cm, composto por 2 cm de reboco, laje de betão armado de 28 cm, 4 cm de isolamento XPS, 3 cm de betonilha e 1 cm de mosaico cerâmico, com $U_{\text{ascendente}} = 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{\text{descendente}} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Cobertura exterior com 38 cm constituída por 5 cm de seixo, 3 cm de betonilha, 4 cm de isolamento XPS, laje de betão armado com 28 cm e reboco de 2 cm, com $U_{\text{ascendente}} = 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{\text{descendente}} = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Pavimento de compartimentação interior com 38 cm composto por 2 cm de argamassa e cal de areia, laje de betão armado com 28 cm, 4 cm de isolamento

XPS, 3 cm de betonilha e mosaico cerâmico de 1 cm, com $U_{ascendente} = 0,69$ W/(m².°C) e $U_{descendente} = 0,63$ W/(m².°C).

Tendo em consideração a área de cada elemento construtivo em contacto com os espaços interiores úteis, é possível determinar a massa térmica do edifício conforme se apresenta na Tabela 7.

Tabela 7. Edifício com inércia térmica forte.

Elemento	Tipo	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	r	$M_{sp} \cdot r \cdot S_i$ [kg]
Parede exterior	EL1 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	114	580	1	66 120
Pilares exteriores		98	90	1	8 820
Vigas exteriores		32	139	1	4 448
Pavimento sobre o exterior		77	619	1	47 663
Cobertura exterior		150	561	1	84 150
Paredes interiores		120	39	1	4 680
Pavimento interior		77	30	1	2 310
Parede em contacto com o terreno	EL2 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	49	168	1	8 232
Pavimento em contacto com o terreno		77	599	1	46 123
Laje entre pisos	EL3 $m_t \leq 300$ kg/m ²	300	741	1	222 300
Parede de compartimentação interior		120	1 414	1	169 680
Pilares compartimentação interior		300	32	1	9 600
Vigas compartimentação interior		300	100	1	30 000
TOTAL					704 126

Para uma área útil de pavimento de 1 423 m² resulta um índice de inércia térmica $I_t = 495$ kg/m², o que confirma que se está perante um edifício com inércia forte.

Tendo obtido uma inércia forte, interessa ao estudo a alteração desta para média e posteriormente para fraca. Foram introduzidas novas soluções construtivas de modo a diminuir a densidade de cada elemento para obter classes de inércia diferentes.

A partir da substituição de algumas das soluções construtivas da envolvente por outras formadas por materiais mais leves. Alterando as soluções construtivas seguintes e mantendo as restantes, o edifício passa a ter Inércia térmica Média:

- Alteração da parede exterior para painel *Sandwich* de 6 cm, 1 cm de caixa de ar e 2 cm de gesso cartonado, com $U = 0,32$ W/(m².°C);
- Alteração da cobertura para painel *Sandwich* de 4 cm, 1 cm de caixa de ar e 2 cm de gesso cartonado, com $U_{descendente} = 0,61$ W/(m².°C) e $U_{ascendente} = 0,64$ W/(m².°C);

- Alteração do pavimento de compartimentação interior para pavimento com 15 cm constituído por 2 cm de reboco, betão cavernoso com 15 cm e 1 cm de madeira, com $U_{descendente} = 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{ascendente} = 1,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Apresenta-se na Tabela 8 o cálculo da massa térmica útil do edifício para este caso.

Tabela 8. Edifício com inércia térmica média.

Elemento	Tipo	$M_{si} [\text{kg}/\text{m}^2]$	$S_i [\text{m}^2]$	r	$M_{sp,r} \cdot S_i [\text{kg}]$
Parede exterior	EL1 $m_{pi} \leq 150$ kg/m^2	14	580	1	8 120
Pilares exteriores		98	90	1	8 820
Vigas exteriores		32	139	1	4 448
Pavimento sobre o exterior		77	619	1	47 663
Cobertura exterior		14	561	1	7 854
Paredes interiores		120	39	1	4 680
Pavimento interior		77	30	1	2 310
Parede em contacto com o terreno	EL2 $m_{pi} \leq 150$ kg/m^2	49	168	1	8 232
Pavimento em contacto com o terreno		77	599	1	46 123
Laje entre pisos	EL3 $m_t \leq 300$ kg/m^2	72	741	1	53 352
Paredes de compartimentação interior		120	1 414	1	169 680
Pilares de compartimentação interior		300	32	1	9 600
Vigas de compartimentação interior		300	100	1	30 000
TOTAL					400 882

A partir da massa térmica útil obtida na Tabela 8 (400 882 kg) e da área útil de pavimento (1 423 m^2) resulta um índice de inércia térmica $I_t = 282 \text{ kg}/\text{m}^2$, o que confirma que se está perante um edifício com inércia média.

Por fim, para a obtenção de uma inércia fraca alteraram-se unicamente os elementos interiores, nomeadamente as paredes de compartimentação interior e a laje entre pisos. A opção pelas soluções construtivas seguintes permite então obter um edifício com Inércia térmica Fraca:

- Parede interior em painel *Sandwich* com 3 cm, com $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Pavimento sobre o terreno constituído por laje de betão armado com 28 cm, 4 cm de isolamento XPS, 2 cm de betonilha e 1 cm de madeira, com $U_{descendente} = 0,66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{ascendente} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Apresenta-se na Tabela 9 o cálculo da massa térmica útil do edifício para este caso.

Tabela 9. Edifício com inércia térmica fraca.

Elemento	Tipo	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	r	$M_{sp.r.S_i}$ [kg]
Parede exterior	EL1 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	14	580	1	8 120
Pilares exteriores		98	90	1	8 821
Vigas exteriores		32	139	1	4 448
Pavimento sobre o exterior		36	619	1	22 284
Cobertura exterior		14	561	1	7 854
Paredes interiores		14	39	1	546
Pavimento interior		72	30	1	2 160
Parede em contacto com o terreno	EL2 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	49	168	1	8 232
Pavimento em contacto com o terreno		36	599	1	21 564
Laje entre pisos	EL3 $m_i \leq 300$ kg/m ²	72	741	1	53 352
Paredes de compartimentação interior		8	1 414	1	11 312
Pilares de compartimentação interior		300	32	1	9 600
Vigas de compartimentação interior		300	100	1	30 000
TOTAL					188 293

A partir da massa térmica útil obtida na Tabela 9 (188 293 kg) e da área útil de pavimento (1 423 m²) resulta um índice de inércia térmica $I_t = 132$ kg/m², o que confirma que se está perante um edifício com inércia fraca.

3.2.5. Análise e comparação de resultados

Através da simulação foram obtidas previsões que permitem fazer a análise da influência da inércia no comportamento térmico e nos consumos de energia deste edifício com ocupação permanente. Apresenta-se na Tabela 10 os resultados obtidos para os consumos do edifício para aquecimento e para arrefecimento considerando os sistemas de *freecooling* activo (mas apenas quando a temperatura do ar exterior é pelo menos 4°C inferior à do ar interior e durante os meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro) e de recuperação de calor no ar de rejeição com uma eficiência de 60% (activo apenas entre o início do mês de Novembro e o fim do mês de Março).

Da análise aos resultados presentes na Tabela 10 verifica-se que a inércia forte é a que apresenta consumos energéticos para climatização mais reduzidos, seguindo-se da inércia média e por fim da inércia fraca. Curiosamente, em termos do total para aquecimento e do total para arrefecimento este comportamento não se repete. Para aquecimento os valores são muito semelhantes, embora se verifique que a inércia média apresenta menores necessidades para esta situação, seguindo da forte e por fim da fraca. Relativamente aos consumos para arrefecimento, a inércia forte, como esperado, apresenta

consumos bastante mais reduzidos que as restantes classes de inércia, sendo esta discrepância verificada essencialmente no primeiro andar.

Tabela 10. Total dos consumos de aquecimento e arrefecimento

Espaço	Inércia Forte		Inércia Média		Inércia Fraca	
	Consumos [kWh/ano]					
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
Cave	0	0	0	0	0	0
Rés-do-chão	5 218	20 972	4 775	21 839	6 913	21 982
Piso 01	7 803	38 334	7 570	49 223	8 652	53 333
Soma	13 021	59 306	12 345	71 062	15 565	75 315
Total	72 327		83 407		90 880	

Apresentam-se nas Figuras 8 a 11 os consumos energéticos anuais de cada zona em que supostamente se compartimentou o edifício. Pretende-se com estes gráficos identificar as zonas em que a inércia térmica tem mais impacto.

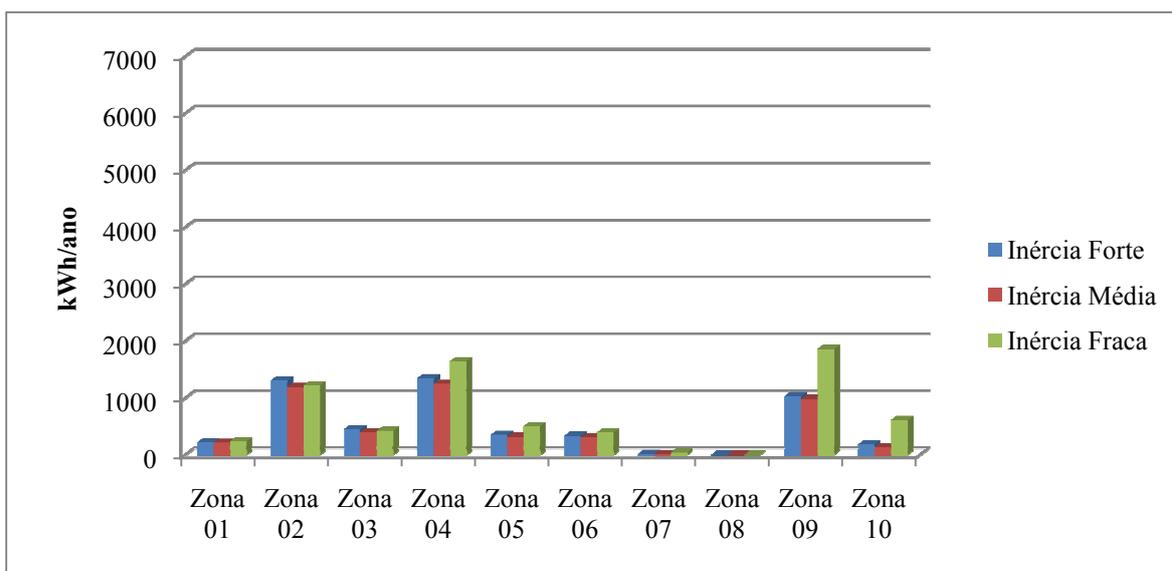


Figura 8. Consumos anuais de energia para aquecimento no piso Zero.

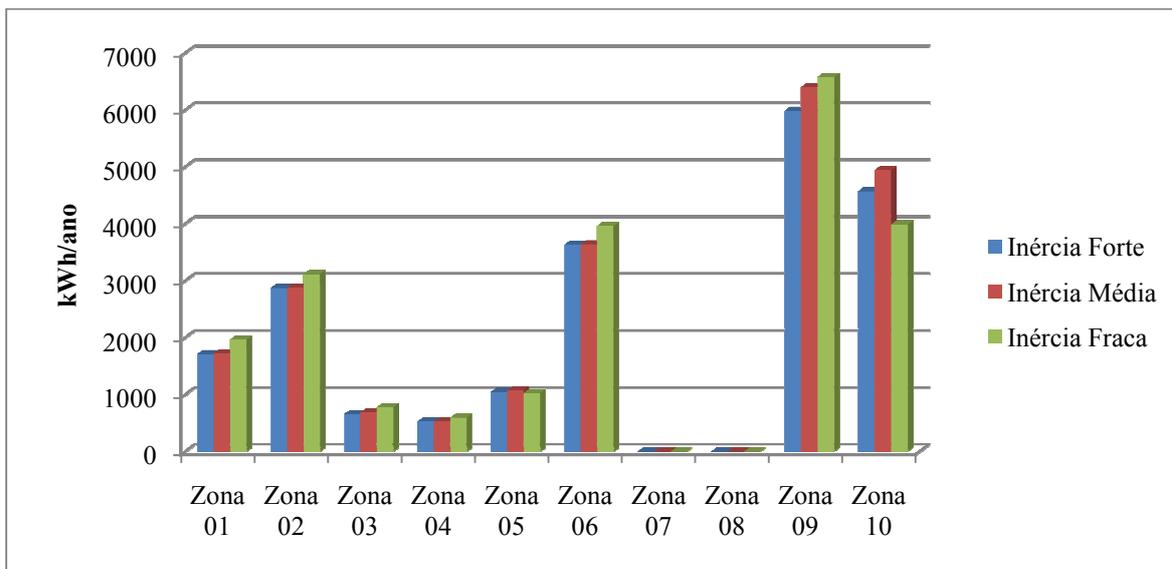


Figura 9. Consumos anuais de energia para arrefecimento no piso Zero.

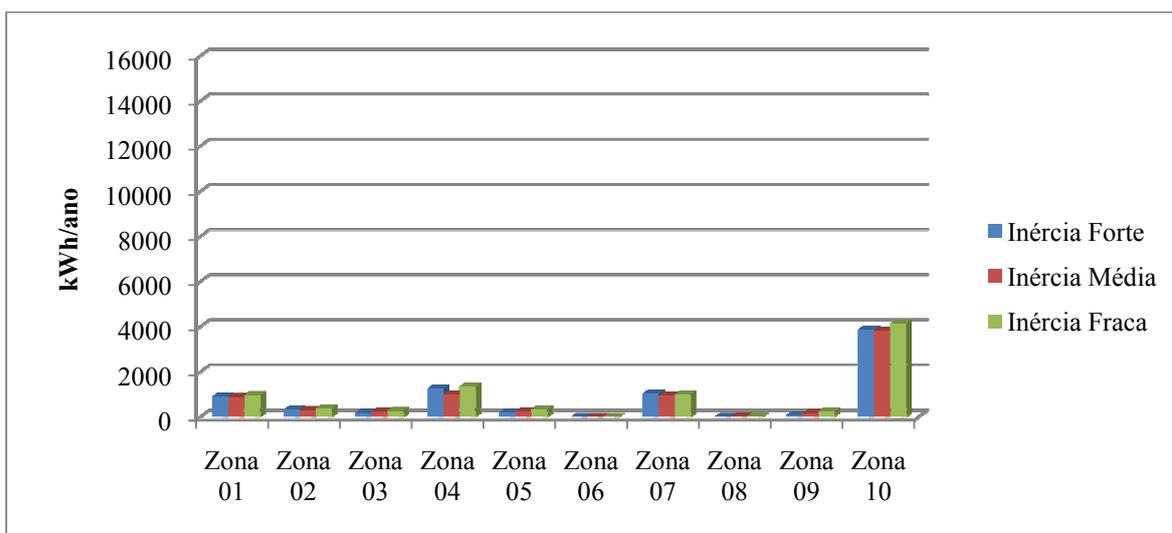


Figura 10. Consumos anuais de energia para aquecimento no piso Um.

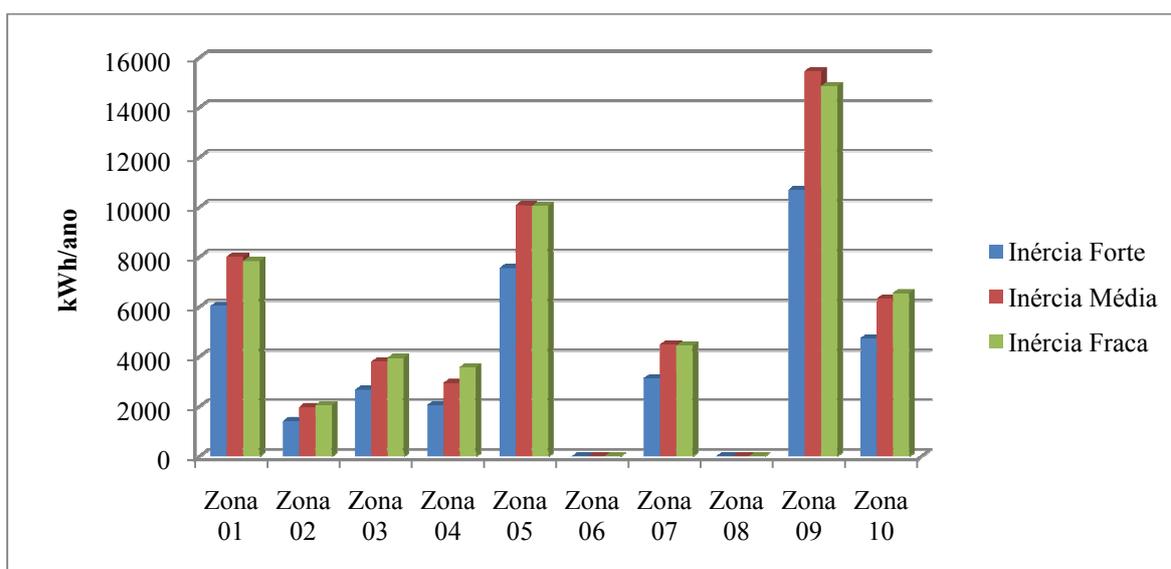


Figura 11. Consumos anuais de energia para arrefecimento no piso Um.

Analisando as figuras anteriores constata-se que ter inércia térmica média ou fraca é prejudicial no que toca ao consumo de energia para arrefecimento quando a zona tem muitos ganhos térmicos, sejam eles devidos a uma grande densidade de equipamentos, a uma grande ocupação ou a fortes ganhos solares (por exemplo devido a grandes áreas de envidraçados ou grandes áreas de fachada voltada entre Sul e Poente). Para a situação de aquecimento verifica-se que a inércia média apresenta consumos ligeiramente mais reduzidos que a inércia forte.

3.2.6. Influência dos sistemas de *freecooling* e de recuperação de calor

Com o objectivo de obter resultados que permitam efectuar uma análise da importância de ter ou não sistemas de *freecooling* e de recuperação de calor do ar de rejeição foram efectuadas quatro simulações para cada classe de inércia; uma com *freecooling* e recuperação de calor, uma apenas com *freecooling*, outra apenas com recuperação de calor e por fim uma sem nenhum dos dois sistemas. Relembrando, a existir o *freecooling* está activo apenas quando a temperatura do ar exterior é pelo menos 4°C inferior à do ar interior, durante os meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro. A existir a recuperação de calor no ar de rejeição tem uma eficiência de 60% e está activo apenas entre o início do mês de Novembro e o fim do mês de Março.

Apresentam-se nas Figuras 12 a 14 e nas Tabelas 11 a 13 os resultados previstos com recurso ao software de cálculo. Na Figura 11 apresentam-se gráficos com as previsões dos consumos anuais totais de energia para climatização do edifício (aquecimento + arrefecimento), na Figura 12 os correspondentes consumos para o aquecimento do mesmo e na Figura 13 os de arrefecimento. A desagregação por piso dos consumos de energia para climatização é exposta na Tabela 11 para o caso de inércia térmica forte, na Tabela 12 para a situação de inércia média e na Tabela 13 para a condição de inércia fraca.

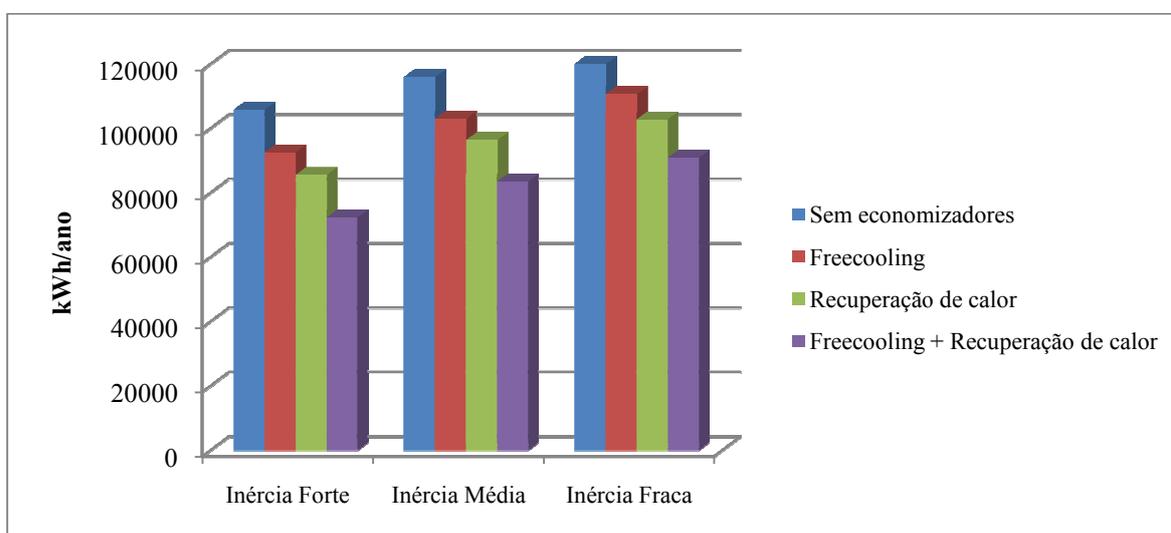


Figura 12. Consumos anuais totais de energia para climatização do edifício.

Analisando os resultados da Figura 12 verifica-se que a existência ou não de sistema de *freecooling* e de recuperação de calor do ar de rejeição tem um forte impacto nos consumos de energia para climatização por parte do edifício. No caso de existirem ambos os sistemas, a situação de inércia térmica forte é a mais favorável e a de inércia fraca a mais consumidora de energia para este fim. No caso de não existirem ou existir apenas um destes sistemas a inércia forte mantém sempre o registo de menos consumidora, seguindo-se da inércia média e por fim da fraca.

O comportamento dos consumos do edifício tem uma variação em escada para cada classe de inércia, pois o sistema apenas com recuperação de calor do ar de rejeição apresenta em todos os casos menores consumos que um sistema apenas com *freecooling*.

Conclui-se ainda que um sistema que inclua *freecooling* e recuperação de calor do ar de rejeição numa classe de inércia média apresenta menores consumos relativamente à utilização de apenas um dos sistemas numa situação de inércia forte.

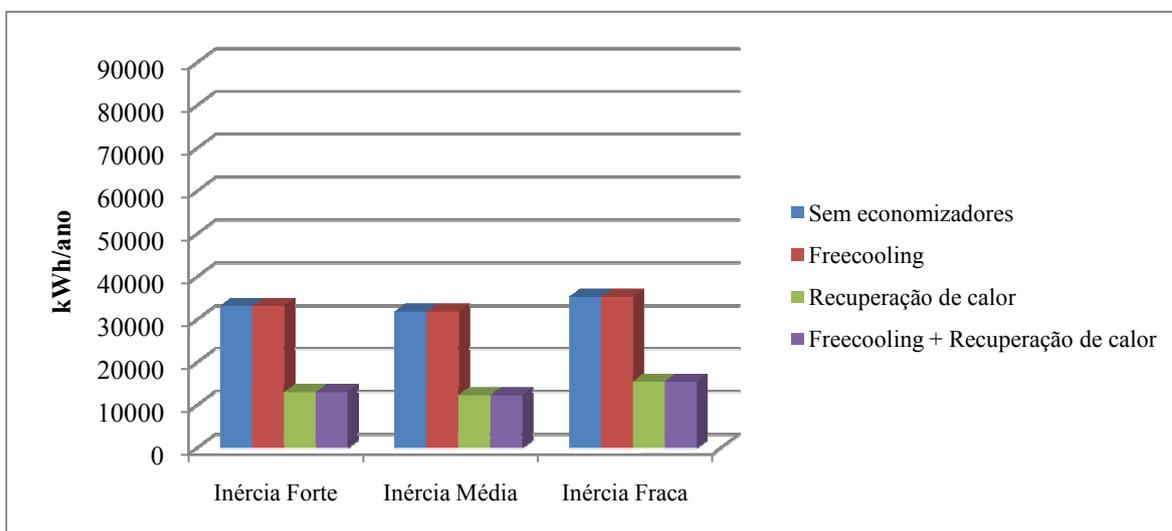


Figura 13. Consumos anuais de energia para aquecimento do edifício.

Analisando a Figura 13 verifica-se que a inércia média apresenta menores consumos para aquecimento que a inércia forte, tendo esta diferença pouco impacto nos consumos totais do edifício.

A inércia média em estudo apresenta grande parte da sua massa no exterior do edifício, sendo o interior do mesmo (paredes de compartimentação interior) constituído por uma construção leve. Este pode ser um motivo para os resultados obtidos, uma vez que a construção pesada exterior tem capacidade de reter os ganhos existentes nas estações mais frias e a construção leve interior não tem capacidade para absorver o calor dos espaços.

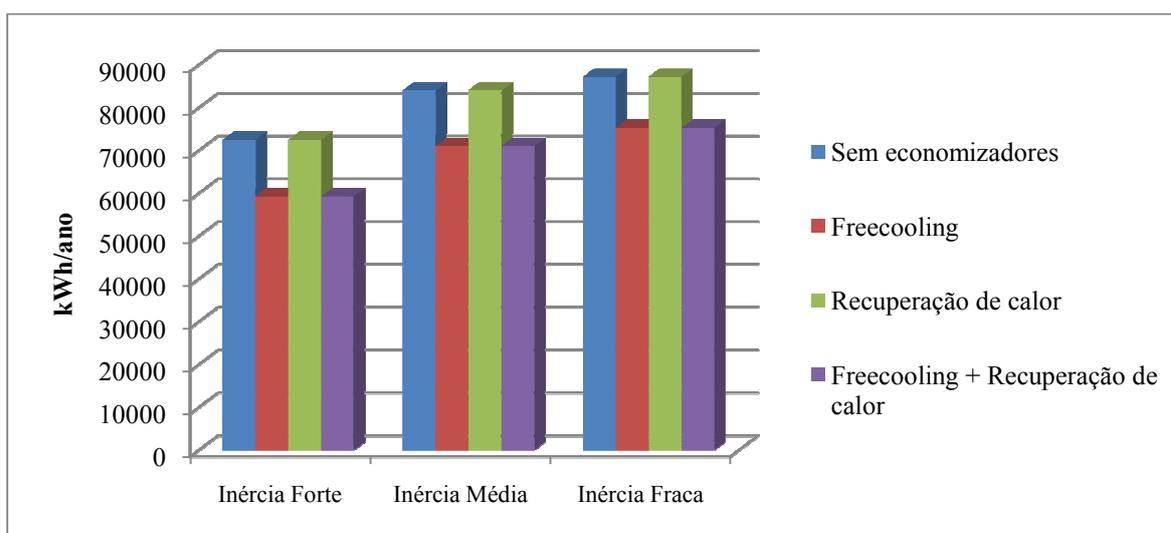


Figura 14. Consumos anuais de energia para arrefecimento do edifício.

Analisando a Figura 14 verifica-se que a grande influência da inércia nos consumos finais para climatização reside na energia para arrefecimento. No caso do aquecimento (Figura 13) foi possível constatar que a inércia média apresenta consumos mais reduzidos que a inércia forte mas a variação é muito reduzida. Nos consumos para arrefecimento (Figura 14) as variações entre as classes de inércia são bastante acentuadas. Da análise da Figura 14 conclui-se ainda que um sistema apenas com recuperação de calor ou um sistema aliando este último ao *freecooling*, para uma situação de inércia média, apresenta menores consumos de arrefecimento que um sistema apenas com *freecooling* ou um sem nenhum sistema de economia de consumos, para a situação de inércia forte.

Tabela 11. Desagregação dos consumos de energia por piso para Inércia Forte

Espaço	Sem <i>freecooling</i> e sem Recuperação de Calor		Apenas com Recuperação de Calor		Apenas com <i>freecooling</i>		Com <i>freecooling</i> e com Recuperação de Calor	
	Consumos [kWh/ano]							
	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.
Rés-do-chão	14 412	24 850	5 218	24 850	14 412	20 972	5 218	20 972
Piso 01	18 801	47 690	7 803	47 690	18 801	38 334	7 803	38 334
Soma	33 213	72 540	13 021	72 540	33 213	59 306	13 021	59 306
Total	105 753		85 561		92 519		72 327	

A partir dos resultados que constam na Tabela 11 é possível verificar que em média, os consumos para arrefecimento representam 75% dos consumos totais do edifício. Outra conclusão a retirar é a redução de consumos existentes com a introdução da

recuperação de calor do ar de rejeição e do *freecooling*. Assim, com a introdução apenas do primeiro, obtém-se uma redução de 19%, com a existência do referido em segundo a redução é de 13% e por fim, aliando os dois sistemas consegue-se uma redução total de 32%.

Tabela 12. Desagregação dos consumos de energia por piso para Inércia Média

Espaço	Sem <i>freecooling</i> e sem Recuperação de Calor		Apenas com Recuperação de Calor		Apenas com <i>freecooling</i>		Com <i>freecooling</i> e com Recuperação de Calor	
	Consumos [kWh/ano]							
	Aque.	Arre.	Aque.	Arre.	Aque.	Arre.	Aque.	Arre.
Rés-do-chão	13 701	25 898	4 775	25 898	13 701	21 839	4 775	21 839
Piso 01	18 158	58 184	7 570	58 184	18 158	49 223	7 570	49 223
Soma	31 859	84 082	12 345	84 082	31 859	71 062	12 345	71 062
Total	115 941		96 427		102 921		83 407	

Os resultados apresentados na Tabela 12 demonstram que para a classe de inércia média os consumos médios de arrefecimento são 78% dos consumos finais. Por outro lado a redução obtida com a existência de recuperação de calor do ar de rejeição é de 17%, com *freecooling* de 11% e com os dois sistemas de 28%.

Tabela 13. Desagregação dos consumos de energia por piso para Inércia Fraca

Espaço	Sem <i>freecooling</i> e sem Recuperação de Calor		Apenas com Recuperação de Calor		Apenas com <i>freecooling</i>		Com <i>freecooling</i> e com Recuperação de Calor	
	Consumos [kWh/ano]							
	Aque.	Arre.	Aque.	Arre.	Aque.	Arre.	Aque.	Arre.
Rés-do-chão	16 182	25 353	6 913	25 353	16 182	21 982	6 913	21 982
Piso 01	19 163	61 868	8 652	61 868	19 163	53 333	8 652	53 333
Soma	35 345	87 221	15 565	87 221	35 345	75 315	15 565	75 315
Total	122 566		102 786		110 660		90 880	

Conforme é possível constatar na Tabela 13, no caso de inércia térmica fraca a influência do sistema de recuperação de calor no ar de rejeição nos consumos finais é de 16%, do sistema *freecooling* é de 10% e dos dois sistemas é de 26%. Os consumos de arrefecimento representam, em média, 77% dos consumos totais.

Através de uma análise global aos resultados das Tabelas 11, 12 e 13 verifica-se que independentemente da classe de inércia e da existência ou não de *freecooling* ou de recuperação de calor do ar de rejeição, os consumos de energia para climatização pelo Primeiro piso são sempre muito superiores aos do Rés-do-chão. Os ganhos externos

devem-se essencialmente à radiação solar e são menos significativos no Rés-do-chão. Tal facto deve-se a que neste piso as fachadas estão mais sombreadas, nomeadamente devido à inclinação do terreno a Nordeste do edifício e à existência de árvores (com 3 m de altura) no pátio a Sudoeste do edifício. Tanto os consumos de aquecimento como de arrefecimento apresentam valores superiores no primeiro piso devido à maior área em contacto com o exterior por parte deste piso. Salienta-se que a cobertura exterior tem uma grande influência na análise de um edifício com vários andares.

3.2.7. Notas conclusivas

A título de resumo pode afirmar-se que para um edifício com utilização permanente e localizado numa zona com clima moderado como o existente na região de Coimbra, os consumos de energia para climatização apresentam as características indicadas a seguir.

- Independentemente da situação considerada em termos de *freecooling* e de recuperação de calor do ar de rejeição, os consumos anuais globais de energia para climatização diminuem sempre com o aumento da inércia térmica do edifício.
- A inércia média apresenta sempre menores consumos anuais de energia para aquecimento, seguindo-se a inércia forte e por fim a inércia fraca, sendo estas diferenças pouco relevantes pelo que não se reflectem nos consumos globais anuais de energia para climatização.
- Os consumos anuais de energia para arrefecimento representam pelo menos 75% dos consumos para climatização (correspondem a 75% na situação de inércia forte, 78% na de inércia média e 77% na de inércia fraca).
- A utilização de recuperação de calor do ar de rejeição reduz os consumos globais anuais de energia para climatização em 19% no caso de o edifício ter inércia forte, em 17% se tiver inércia média e em 16% para fraca.
- A utilização de *freecooling* reduz os consumos globais anuais de energia para climatização numa situação de inércia forte em 13%, em inércia média em 11% e por fim em inércia fraca em 10%.
- No caso de existir em simultâneo recuperação de calor do ar de rejeição e *freecooling* a poupança de energia é a que resulta da soma das poupanças

individuais em virtude de não existir interdependência entre os benefícios promovidos por estes sistemas.

3.3. Edifício com ocupação intermitente cíclica - Supermercado

O edifício com ocupação intermitente (supermercado), representado em perspectiva na Figura 15, desenvolve-se por um piso único composto pela zona de exposição de produtos do supermercado, por quatro lojas, umas instalações sanitárias gerais, uma cafetaria, um escritório, uma zona de apoio ao supermercado (onde existem vestiários e espaços de apoio ao talho), uma zona de armazém e uma zona técnica (casa das máquinas).

Este edifício foi projectado para uma ocupação máxima de 215 pessoas.

Na Figura 15 pode observar-se a forma paralelepípedica do edifício, apresentando quatro orientações distintas, onde a fachada principal está orientada a Sul. Um aspecto que importa realçar é que este edifício não beneficia de obstruções solares significativas.

No Anexo B apresentam-se os desenhos com uma representação mais detalhada do edifício.

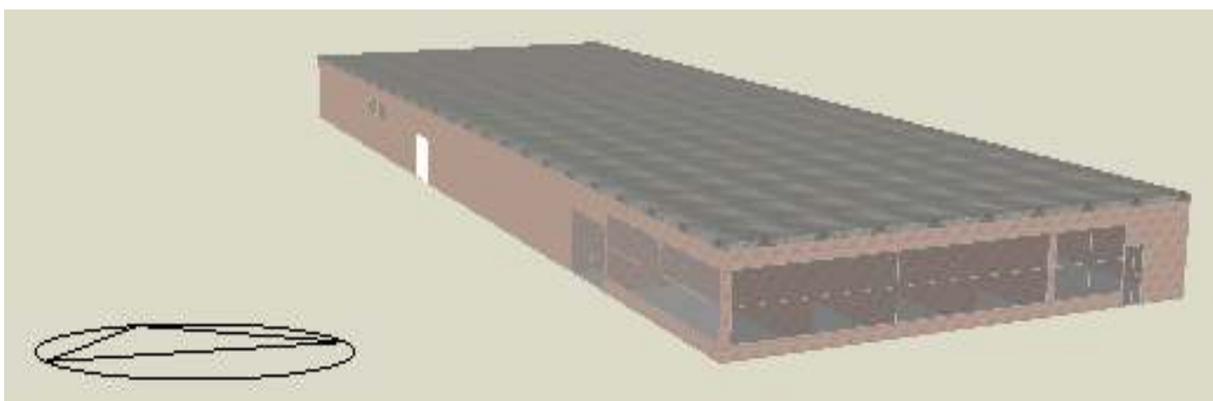


Figura 15. Edifício com ocupação intermitente em estudo (Representação no *DesignBuilder*).

3.3.1. Descrição do edifício

O supermercado tem uma área bruta de pavimento de 1445 m², sendo que desta área 1277 m² são climatizados. Apenas a zona do armazém e a zona técnica não são climatizadas. O pé direito médio é de 3,6 m.

3.3.2. Zonamento

Para este caso específico, optou-se por utilizar as zonas representadas na Figura 16. Foram consideradas as 7 zonas distintas descritas a seguir.

- Atribuiu-se uma zona (Zona 1) ao espaço que inclui a zona de exposição de produtos do supermercado, a entrada principal e as instalações sanitárias gerais. As fachadas exteriores desta zona encontram-se orientadas a Sul, Este e Oeste, sendo as duas últimas as fachadas de maior área.
- O apoio ao supermercado foi designado como Zona 2, local onde existem vestiários e salas de apoio ao talho, tendo as fachadas exteriores voltadas a Oeste e a Norte.
- A Zona 3 corresponde ao escritório, local com uma única fachada exterior voltada a Oeste.
- As quatro lojas existentes foram englobadas numa única zona (Zona 4). Esta tem uma grande área de envidraçados, sendo as fachadas orientadas a Sul e a Oeste.
- A cafetaria, com uma fachada exterior voltada a Este, é composta por uma sala de fabrico de pão e bolos e uma zona de venda ao público, correspondentes à Zona 5.
- Aos espaços não climatizados, a casa das máquinas e o armazém, correspondem as Zonas 6 e 7, respectivamente. A casa das máquinas apresenta apenas uma fachada exterior orientada a Norte enquanto o armazém além de uma fachada a Norte, possui ainda uma voltada a Este.

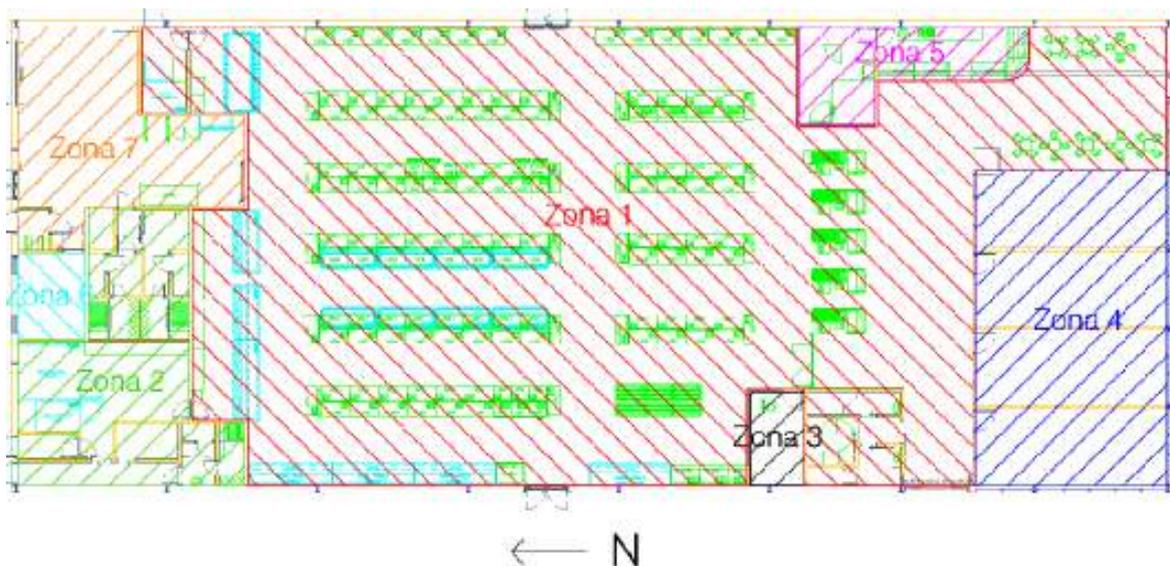


Figura 16. Planta e zonamento do supermercado.

Nas Tabelas 14 e 15 seguintes é caracterizada toda a envolvente do edifício.

Tabela 14. Caracterização das zonas do supermercado.

Descrição		Paredes exteriores						Parede em contacto com espaço não climatizado	Pavimento em contacto com o terreno	Cobertura exterior
Zona	A_p [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	
1	774,22	E	132,55	S	23,69	W	110,74	54,32	774,22	774,22
2	126,38	S	51,19	W	31,93	-	-	62,35	126,39	126,39
3	10,91	W	8,93	-	-	-	-	-	10,91	10,91
4	87,41	W	36,86	N	23,04	-	-	-	87,41	87,41
5	66,15	N	29,88	E	0,00	-	-	-	66,15	66,15
6	12,56	N	14,4	-	-	-	-	-	12,56	12,56
7	31,98	E	12,60	-	-	-	-	-	31,98	31,98

Tabela 15. Caracterização das zonas do supermercado (continuação).

Descrição		Envidraçados						Portas exteriores			
Zona	A_p [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]		A [m ²]
1	774,22	E	10,08	S	11,25	W	13,04	E	4,29	W	4,29
2	126,38	S	35,55	W	22,18	-	-	N	4,40	N	4,40
3	10,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	87,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	66,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	12,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	31,98	-	-	-	-	-	-	N	11,20	-	-

3.3.3. Padrões de utilização e funcionamento

Tal como para o edifício de ocupação permanente anteriormente estudado, foram também tomadas várias considerações para o estudo do supermercado. Neste caso, foram essencialmente utilizados os valores padrão estabelecidos no RSECE para a tipologia “Supermercados”. Assim sendo:

- O perfil de ocupação de cada zona foi definido tendo em conta que o edifício está aberto ao público entre as 10h e as 22h, sendo os trabalhos de limpeza e de recolocação de produtos nas prateleiras efectuados preferencialmente entre as 6h e as 10h. O edifício funciona 365 dias por ano sem interrupções;

- A ocupação máxima corresponde ao número máximo de pessoas previsto no projecto de arquitectura para essa zona;
- A climatização está activa todos os dias entre as 6h e as 24h e existe apenas nas zonas 1 (espaço de venda do supermercado), 2 (apoio ao supermercado), 3 (escritório), 4 (lojas) e 5 (cafetaria), não existindo nas zonas 6 (casa das máquinas) e 7 (armazém);
- Todos os dias entre as 6h e as 24h existe ventilação mecânica em todos os espaços, a qual cumpre os requisitos mínimos impostos pelo RSECE em termos de caudal de ar novo; Entre as 0h e as 6h a ventilação funciona apenas quando é activada a função de freecooling;
- No caso de existir *freecooling*, este só está activo quando a temperatura do ar exterior é pelo menos 4°C inferior à do ar interior, estando este mecanismo activo desde o início do mês de Maio até ao fim do mês de Setembro;
- Nas zonas em que existe disponível sistema de climatização impôs-se para o ar interior uma temperatura mínima de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura máxima de 25°C para a de arrefecimento, não sendo imposto qualquer *set-point* de temperatura nas zonas não climatizadas;
- No caso de existir, a recuperação de calor do ar de rejeição é efectuada com uma eficiência de 60% e só está activa entre o início do mês de Novembro e o fim do mês de Março (assume-se que durante os restantes meses é feito um *by-pass* ao recuperador);
- Não foram impostos *set-points* para a humidade relativa do ar interior;
- Foi considerado um sistema de climatização baseado numa bomba de calor a água com recuperação de calor, sendo o aquecimento/arrefecimento dos espaços feito através de ventiloconvectores;
- Foi considerado um *COP* igual a 4 para a função de aquecimento e um *EER* de 3 para arrefecimento.

Neste trabalho teve-se em conta o número máximo de ocupantes previsto para cada espaço no projecto de arquitectura. Foi considerada uma densidade instalada de iluminação de 21 W/m² na zona do supermercado, 13 W/m² no apoio ao mesmo, 14 W/m² nas lojas, 13 W/m² na cafetaria, 7 W/m² no escritório, 9 W/m² no armazém e 3 W/m² na

casa das máquinas. Em relação aos equipamentos (não incluindo os de climatização e de ventilação) foi considerada uma densidade máxima de 9 W/m^2 no supermercado e no apoio ao mesmo, 250 W/m^2 na cafetaria, 5 W/m^2 nas lojas e 15 W/m^2 no escritório. Os caudais de ar novo foram estabelecidos através dos valores mínimos de ar novo estipulados pelo RSECE para cada tipologia de espaço, ou a mais semelhante possível no caso de ela não estar prevista no RSECE. Através de uma ponderação considerada adequada obtiveram-se para cada zona as densidades máximas de ocupação, de iluminação e de equipamentos (AVAC não incluído) e os caudais de ar novo a insuflar apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Ocupação e densidades máx. de iluminação, equipamentos e caudais de ar novo em cada zona.

Descrição	Ocupação	Iluminação		Equipamento		Caudal de ar novo [m ³ /h]
		Nº ocupantes	kW	W/m ²	kW	
Zona 1	155	16,26	21,00	6,97	9,00	4 650,00
Zona 2	26	1,64	13,00	1,14	9,00	631,90
Zona 3	1	0,24	22,00	0,16	15,00	54,60
Zona 4	18	1,22	14,00	0,44	5,00	540,00
Zona 5	14	0,86	13,00	16,54	250,00	420,00
Zona 6	3	0,23	18,00	0,00	0,00	62,80
Zona 7	7	0,29	9,00	0,00	0,00	1 119,30

3.3.4. Soluções construtivas para inércia forte, média e fraca

Tal como no edifício anteriormente estudado, a constituição dos pilares, vigas, e envidraçados foi mantida independentemente da classe de inércia térmica pretendida para o edifício, apresentando-se a seguir a sua constituição, com os diversos elementos a serem especificados do exterior para o interior do espaço útil:

- Pilar exterior de 38 cm, constituído por 2 cm de reboco tradicional, betão armado com 22 cm, caixa-de-ar não ventilada com 1 cm, 4 cm de isolamento XPS, tijolo furado de 7 cm e 2 cm de argamassa de cal e areia. O coeficiente de transmissão térmica do pilar é $U = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Vigas exteriores com 38 cm, constituídas por 2 cm de argamassa de reboco tradicional, 20 cm de betão armado, caixa-de-ar não ventilada com 3 cm, 4 cm de isolamento XPS e 2 cm de argamassa de cal e areia, com $U_{\text{ascendente}} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{\text{descendente}} = 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

- Envidraçados simples exteriores constituídos por alumínio com corte térmico e vidro duplo (vidros exterior e interior com 4 mm e lâmina de ar de 6 mm) incolor e sem proteções. O coeficiente de transmissão térmica é $U = 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Como no caso “real” do projecto a que se teve acesso o edifício apresentava inércia térmica fraca, será esta a situação a apresentar em primeiro lugar. Por modificação de algumas das soluções construtivas passaremos a ter um edifício com inércia média. Novamente através de alterações de alguns elementos passar-se-á a inércia forte. Nas descrições que se seguem as camadas de material serão sempre apresentadas do exterior para o interior do espaço útil.

Foram utilizadas as seguintes soluções construtivas para a obtenção de um edifício com Inércia térmica Fraca:

- Parede exterior de 10,5 cm, constituída por painel *sandwich* de 8 cm, caixa-de-ar de 1 cm e gesso cartonado com 1,5 cm. O coeficiente de transmissão térmica da parede é $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Parede de compartimentação interior com 15 cm, composta por 2 cm de reboco de ambos os lados e tijolo de 11 cm no interior, com $U = 1,78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Parede de compartimentação interior com 24 cm, composta por 1,5 cm de reboco, tijolo de 15 cm, isolamento em poliuretano com 6 cm e gesso cartonado com 1,5 cm, com $U = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Parede interior com 24 cm, composta por 1,5 cm de reboco, tijolo de 15 cm, isolamento em Poliuretano com 6 cm e gesso cartonado com 1,5 cm, com $U = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Pavimento em contacto com o terreno com 29 cm, composto por betão armado com 20 cm, isolamento XPS com 4 cm, 4 cm betonilha e 1 cm de madeira, com $U_{\text{ascendente}} = 0,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{\text{descendente}} = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Cobertura exterior com 28 cm constituída por chapa *sandwich* com 0,1 cm, espaço de ar não ventilado com 20 cm, lã-de-rocha com 6 cm e 2 cm de gesso cartonado. Para esta solução construtiva obteve-se $U_{\text{ascendente}} = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_{\text{descendente}} = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tendo em consideração a área de cada elemento construtivo em contacto com os espaços interiores úteis, é possível determinar a massa térmica do edifício conforme se apresenta na Tabela 17.

Tabela 17. Edifício com inércia térmica fraca.

Elemento	Tipo	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	r	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ [kg]
Parede exterior	EL1 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	14	369	1	5 166
Pilares exteriores		98	34	1	3 332
Vigas exteriores		32	110	1	3 520
Cobertura exterior		14	1 097	1	15 358
Paredes interiores		14	33	1	462
Pavimento em contacto com o terreno	EL2 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	76	1 097	1	83 372
Parede de compartimentação 15 cm	EL3 $m_{pi} \leq 300$ kg/m ²	168	221	1	37 128
Parede de compartimentação 20 cm		170	72	1	12 240
				TOTAL	160 578

Para uma área útil de pavimento de 1 097 m² resulta um índice de inércia térmica $I_t = 146$ kg/m², o que confirma que se está perante um edifício com inércia fraca.

A partir da substituição das soluções construtivas da envolvente exterior, apresentadas a seguir, por outras formadas por materiais mais densos o edifício passa a ter Inércia térmica Média:

- Alteração da parede exterior para uma parede exterior com 35 cm constituída por 2 cm de reboco, tijolo de 11 cm, isolamento XPS com 4 cm, 5 cm de caixa de ar, tijolo de 11 cm e reboco com 2 cm, com $U = 0,52$ W/(m².°C);
- Alteração da cobertura para cobertura exterior com 55 cm composta por 5 cm de seixo rolado, 3 cm de isolamento XPS, 5 cm de betonilha, betão cavernoso com 20 cm, espaço de ar não ventilado com 20 cm e gesso cartonado. Para esta solução construtiva, com $U_{descendente} = 0,46$ W/(m².°C) e $U_{ascendente} = 0,49$ W/(m².°C).

Apresenta-se na Tabela 18 o cálculo da massa térmica útil do edifício para este caso.

Tabela 18. Edifício com inércia térmica média.

Elemento	Tipo	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	r	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ [kg]
Parede exterior	EL1 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	134	369	1	49 446
Pilares exteriores		98	34	1	3 332
Vigas exteriores		32	110	1	3 520
Cobertura exterior		150	1 097	1	164 550
Paredes interiores		14	33	1	462
Pavimento em contacto com o terreno	EL2 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	76	1 097	1	83 372
Parede de compartimentação 15 cm	EL3 $m_{pi} \leq 300$ kg/m ²	168	221	1	37 128
Parede de compartimentação 20 cm		170	72	1	12 240
TOTAL					354 050

A partir da massa térmica útil obtida na Tabela 18 (354 050 kg) e da área útil de pavimento (1 027 m²) resulta um índice de inércia térmica $I_t = 322$ kg/m², o que confirma que se está perante um edifício com inércia média.

Por fim, para a obtenção de uma inércia forte alteraram-se apenas elementos interiores, nomeadamente as paredes de compartimentação interior e a laje entre pisos. A opção pelas soluções construtivas seguintes permite então obter um edifício com Inércia térmica Forte:

- Alteração do pavimento em contacto com o terreno para pavimento com 29 cm constituído por 4 cm de isolamento XPS, betão armado com 20 cm, 4 cm de betonilha e acabamento em mosaico cerâmico, com $U_{descendente} = 0,64$ W/(m².°C) e $U_{ascendente} = 0,70$ W/(m².°C);
- Cobertura exterior com 35 cm composta por 5 cm de seixo rolado, isolamento XPS com 3 cm, betonilha com 5 cm, 20 cm de betão armado e 2 cm de reboco. Para esta solução, com $U_{descendente} = 0,83$ W/(m².°C) e $U_{ascendente} = 0,89$ W/(m².°C);
- Parede exterior com 35 cm, constituída por reboco de ambos os lados com 2 cm, tijolo de 11 cm, isolamento XPS com 4 cm, caixa de ar de 5 cm e tijolo furado de 11 cm, com $U = 0,52$ W/(m².°C);

- Parede interior com 18 cm constituída por 2 cm de reboco de ambos os lados, 10 cm de betão e 4 cm de poliuretano, com $U = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Parede de compartimentação interior com 18 cm constituída por 2 cm de reboco de ambos os lados, 10 cm de betão e 4 cm de poliuretano, com $U = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Parede de compartimentação interior com 15 cm constituída por 2 cm de reboco de ambos os lados e 11 cm de betão, com $U = 2,89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Apresenta-se na Tabela 19 o cálculo da massa térmica útil do edifício para este caso.

Tabela 19. Edifício com inércia térmica forte.

Elemento	Tipo	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	r	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ [kg]
Parede exterior	EL1 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	134	369	1	49 446
Pilares exteriores		98	34	1	3 332
Vigas exteriores		32	110	1	3 520
Cobertura exterior		150	1 097	1	164 550
Paredes interiores		150	33	1	4 950
Pavimento em contacto com o terreno	EL2 $m_{pi} \leq 150$ kg/m ²	150	1.097	1	164 550
Parede de compartimentação 15 cm	EL3 $m_{pi} \leq 300$ kg/m ²	300	221	1	66 300
Parede de compartimentação 20 cm		300	72	1	21 600
TOTAL					478 248

A partir da massa térmica útil obtida na Tabela 19 (478 248 kg) e da área útil de pavimento (1 027 m²) resulta um índice de inércia térmica $I_t = 436 \text{ kg}/\text{m}^2$, o que confirma que se está perante um edifício com inércia forte.

3.3.5. Análise e comparação de resultados

De igual modo ao caso estudado anteriormente, através da simulação é possível caracterizar o comportamento dos consumos de climatização deste edifício com ocupação intermitente. Apresentam-se na Tabela 20 os resultados obtidos para os consumos do edifício para aquecimento e para arrefecimento considerando os sistemas de *freecooling* activo (mas apenas quando a temperatura do ar exterior é pelo menos 4°C inferior à do ar

interior e durante os meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro) e de recuperação de calor no ar de rejeição com uma eficiência de 60% (activo apenas entre o início do mês de Novembro e o fim do mês de Março).

Da análise aos resultados presentes na Tabela 20 verifica-se que a inércia forte é a que apresenta consumos energéticos para climatização mais reduzidos, seguindo-se da inércia média e por fim da inércia fraca. Curiosamente, em termos do total para aquecimento este comportamento não se repete. Para aquecimento os valores são menores para a classe de inércia média, seguindo-se a forte e por fim a fraca. Relativamente aos consumos para arrefecimento, a inércia forte apresenta consumos mais reduzidos que as restantes classes de inércia. Igualmente para os consumos de arrefecimento, a inércia fraca apresenta consumos superiores em 18% em relação à inércia forte e 16% em relação à inércia média.

Tabela 20. Total dos consumos de energia para climatização (arrefecimento) do edifício.

Espaço	Inércia Forte		Inércia Média		Inércia Fraca	
	Consumos [kWh/ano]					
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
Rés-do-chão	273	106413	104	109236	461	130328
Total	106686		109340		130789	

Nas Figuras 17 e 18 caracteriza-se a influência da inércia térmica sobre os consumos de energia para climatização (aquecimento e arrefecimento) de cada zona considerada para este estudo, na situação em que existe *freecooling* activo relativo à energia para arrefecimento e de recuperação de calor do ar de rejeição afecto às necessidades para aquecimento. Como era espectável, a zona 1, designada como “supermercado”, é responsável por 51% dos consumos, as lojas por 17%, o apoio ao supermercado por 5%, a cafetaria por 26% e finalmente o escritório por 1%.

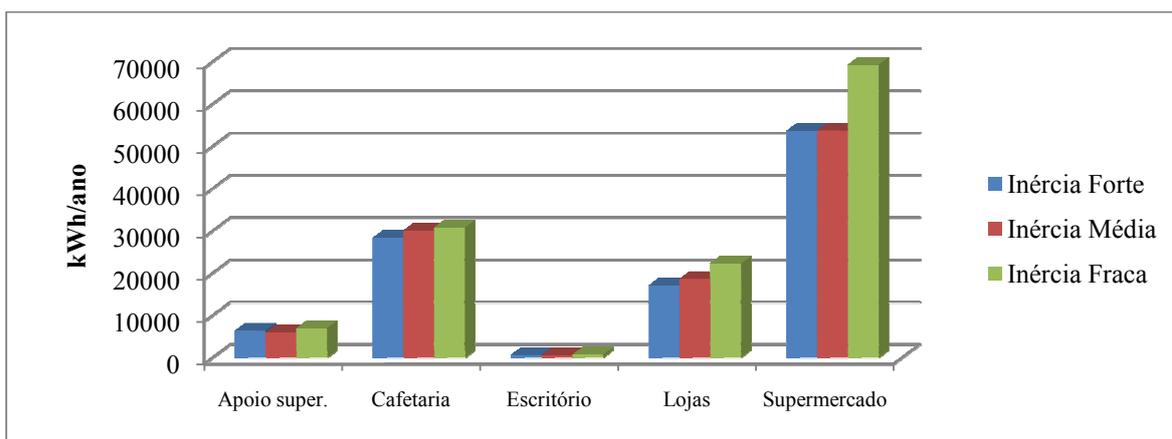


Figura 17. Consumos anuais de energia para climatização (arrefecimento).

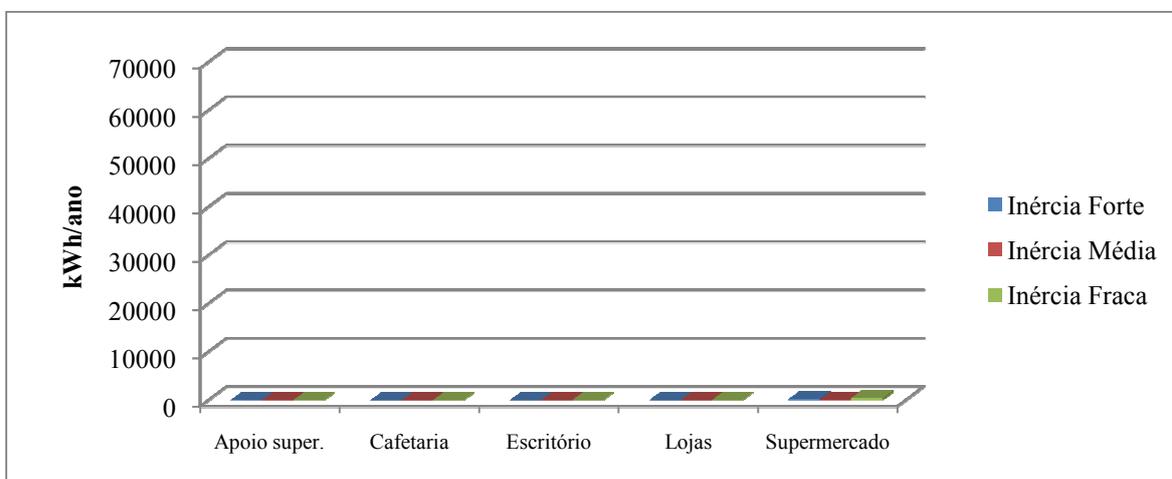


Figura 18. Consumos anuais de energia para climatização (aquecimento).

Analisando os resultados apresentados conclui-se que a influência da inércia modifica o comportamento de algumas zonas. Se no apoio ao supermercado a inércia média apresenta menores consumos de climatização para arrefecimento, já nas restantes zonas é a inércia forte que ganha vantagem nesse aspecto. Conclui-se ainda que para todas as zonas estudadas, a inércia fraca apresenta maiores consumos para climatização. Neste edifício verifica-se que as necessidades de aquecimento são muito reduzidas e têm pouca influência nos consumos globais, correspondendo em média a 2,5% dos consumos globais para climatização.

3.3.6. Influência do sistema de *freecooling* e de recuperação de calor

Para a análise do comportamento térmico e energético deste edifício com funcionamento intermitente cíclico (supermercado) foram efectuadas quatro simulações

para cada classe de inércia, uma em que os sistemas de *freecooling* e de recuperação de calor do ar de rejeição foram considerados activos nos períodos anteriormente referidos, outra apenas com o sistema *freecooling*, outra apenas com recuperação de calor do ar de rejeição e por fim, uma em que não estava previsto qualquer sistema de poupança de energia.

Apresentam-se na Figura 19 e nas Tabelas 21, 22 e 23 os resultados obtidos para o consumo global anual de energia para a climatização deste edifício.

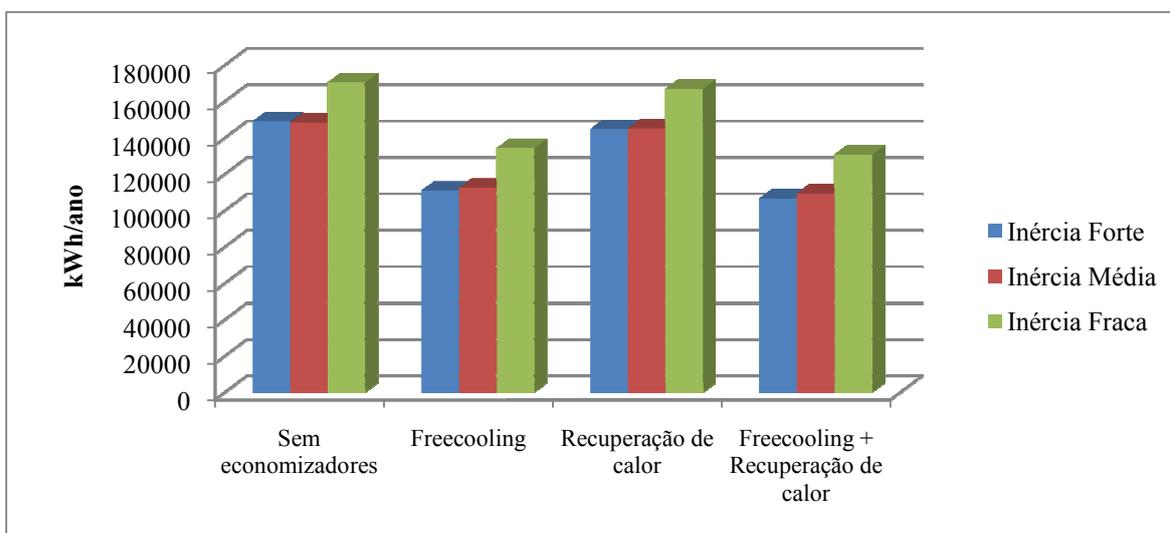


Figura 19. Consumos anuais totais de energia para climatização do edifício.

Tabela 21. Consumos de energia para climatização na situação de inércia térmica forte.

Espaço	Sem <i>freecooling</i> e sem Recuperação de Calor		Apenas com Recuperação de Calor		Apenas com <i>freecooling</i>		Com <i>freecooling</i> e com Recuperação de Calor	
	Consumos [kWh/ano]							
	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.
Rés-do-chão	4494	144524	273	144524	4494	106413	273	106413
Total	149018		144797		110907		106686	

Tabela 22. Consumos de energia para climatização na situação de inércia térmica média.

Espaço	Sem <i>freecooling</i> e sem Recuperação de Calor		Apenas com Recuperação de Calor		Apenas com <i>freecooling</i>		Com <i>freecooling</i> e com Recuperação de Calor	
	Consumos [kWh/ano]							
	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.
Rés-do-chão	3234	145140	104	145140	3234	109236	104	109236
Total	148374		145244		112470		109340	

Tabela 23. Consumos de energia para climatização na situação de inércia térmica fraca.

Espaço	Sem <i>freecooling</i> e sem Recuperação de Calor		Apenas com Recuperação de Calor		Apenas com <i>freecooling</i>		Com <i>freecooling</i> e com Recuperação de Calor	
	Consumos [kWh/ano]							
	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.	Aquec.	Arref.
Rés-do-chão	3975	166470	461	166470	3975	130328	461	130328
Total	170445		166931		134303		130789	

Da análise dos valores apresentados na Figura 19 e nas Tabelas 21 a 23 verifica-se que a existência de *freecooling* tem um peso enorme sobre os consumos de energia para a climatização desta tipologia de edifícios para todas as classes de inércia, conseguindo reduzir em média 24% os consumos de arrefecimento. Conclui-se ainda que na ausência de qualquer sistema de poupança de energia, a inércia média apresenta menores consumos, seguindo-se a inércia forte e por fim a inércia fraca. Com a existência de sistemas de economia de consumos quer individualizados quer em funcionamento paralelo, a inércia forte apresenta os menores consumos, seguindo-se sempre a inércia média e a inércia fraca, respectivamente.

3.3.7. Notas conclusivas

A título de resumo pode concluir-se que para o edifício com ocupação intermitente cíclica acabado de analisar (um supermercado) os consumos globais anuais de energia para climatização apresentam as características apresentadas nos pontos que se seguem.

- A energia para arrefecimento corresponde em média a 97,5% dos consumos para climatização, cabendo os restantes 2,5% à energia para aquecimento.
- A inércia média apresenta menores consumos para climatização, seguindo-se a inércia forte e por fim a inércia fraca, quando não existe qualquer sistema de poupança de energia.
- Nos consumos de arrefecimento, a inércia forte apresenta sempre menores consumos, sendo estes tanto maiores quanto menor o valor do índice de inércia.
- A inércia média apresenta sempre menores consumos para aquecimento. Com a inexistência de sistemas de poupança de energia ou com a presença do *freecooling*, a inércia fraca apresenta menores consumos de aquecimento que a inércia forte, invertendo-se a tendência quando existe simultaneamente o *freecooling* e a

recuperação de calor do ar de rejeição ou apenas este último mecanismo funcionando individualmente.

- Devido às baixas necessidades de aquecimento, o efeito da recuperação de calor do ar de rejeição tem pouca influência para as três classes de inércia, correspondendo a uma redução média de 2% nos consumos globais para climatização.
- O *freecooling* apresenta reduções de consumos na ordem dos 26% para a inércia forte apresentando para as classes de inércia média e fraca uma redução na ordem dos 24%.

3.4. Relação entre inércia térmica, perfil de utilização e consumo de energia

Este estudo é baseado na análise do comportamento em termos de consumos de energia para climatização de dois edifícios com tipologias de uso muito distintas mas implantados no mesmo local, o qual apresenta um clima moderado. Para efeito escolheu-se um Lar para idosos (edifício com ocupação permanente, internamente muito compartimentado e com baixas cargas térmicas internas, logo dominado em termos térmicos pelo transporte de calor através da sua envolvente) e um Supermercado (edifício com ocupação intermitente cíclica, internamente pouco compartimentado e com altas cargas térmicas internas, logo pouco dependente das trocas de calor através da sua envolvente). Tendo em conta os resultados obtidos com o software *EnergyPlus* e designado como edifício A o Lar para idosos e como edifício B o Supermercado, podem apresentar-se as conclusões expostas a seguir relativas à influência da inércia térmica e da existência ou não de sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição e de arrefecimento gratuito (*freecooling*).

- No caso do edifício A, cerca de 75% dos consumos anuais globais para climatização são gastos para arrefecimento, sendo os restantes 25% para aquecimento. No caso do edifício B, os consumos para arrefecimento correspondem a 97,5% dos consumos anuais globais, restando 2,5% para consumos para aquecimento.
- Independentemente da existência ou não de sistemas de *freecooling* e de recuperação do calor do ar de rejeição, a inércia térmica forte dá origem a menores

consumos para climatização e a inércia fraca aos maiores, isto para o caso do edifício A. No edifício B a inércia média apresenta menores consumos na inexistência de qualquer sistema de poupança de energia. Para todas as restantes situações estudadas, a inércia forte apresenta os menores consumos, seguida da inércia média e da fraca, respectivamente.

- No caso do edifício A, a existência de um sistema de recuperação de calor do ar de rejeição com uma eficiência de 60% reduz os consumos de energia para climatização entre 19% (inércia forte) e 16% (inércia fraca). Para o edifício B esta redução situa-se entre 3% (inércia forte) e 2% (inércia fraca).
- No caso do edifício A, a utilização de *freecooling* reduz os consumos globais anuais de energia para climatização entre 13% (situação de inércia forte) e 10% (caso de fraca). Para o edifício B, o *freecooling* representa uma redução de 26% para a classe de inércia forte e 24% para as classes de inércia média e fraca.
- Face ao acabado de expor é óbvio que a influência da inércia térmica e da existência ou não de sistemas de recuperação de calor do ar de rejeição e de arrefecimento gratuito (*freecooling*) depende essencialmente do tipo de uso do edifício em apreço. Pensa-se que este comportamento tem pouco a ver com a circunstância de a ocupação ser permanente ou intermitente e está mais relacionado com o facto de o edifício ser termicamente dependente das trocas de calor através da envolvente (como é o caso do Lar) ou das cargas térmicas internas (como é o caso do Supermercado).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho pretendia-se analisar a influência da inércia térmica no consumo de energia por parte dos edifícios de serviços e como é que o nível de inércia pode potenciar ou desaconselhar a implementação de sistemas de racionalização do consumo de energia do tipo arrefecimento gratuito (*freecooling*) e de recuperação do calor contido no ar de rejeição.

Como se pensa que os benefícios da inércia térmica estão relacionados com o tipo de uso, foram analisados dois edifícios com utilizações muito distintas, um edifício com funcionamento permanente (um Lar para idosos) e um edifício com ocupação intermitente cíclica (um Supermercado). Para além do tipo de ocupação, estes edifícios também têm comportamentos térmicos diferentes relacionados com o facto do Lar para idosos ser internamente muito compartimentado e ter baixas cargas térmica internas (logo muito dependente das trocas de calor através da envolvente) e do Supermercado ser internamente muito pouco compartimentado e ter elevadas cargas térmicas internas (logo muito pouco dependente das trocas de calor através da envolvente).

Consideraram-se ambos os edifícios implantados no mesmo local, a periferia da zona urbana da cidade de Coimbra. Ou seja, assumiram-se os edifícios localizados numa zona de clima moderado.

Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos com recurso ao programa de simulação dinâmica multizona *EnergyPlus*.

A análise de resultados baseou-se fundamentalmente nos valores obtidos para os consumos globais anuais de energia para climatização e na sua desagregação para a função de aquecimento e de arrefecimento. Através desta análise foi possível identificar a influência nos consumos de energia para climatização da inércia térmica e da existência ou não dos referidos dois sistemas de poupança de energia e a sua relação com o tipo de edifício.

Obviamente que ficaram vários aspectos por analisar. De entre eles destacam-se a influência da arquitectura do edifício (outra exposição solar, diferentes características das áreas envidraçadas, etc.) e da severidade do clima (frio, moderado e quente). Também

seria interessante analisar uma variedade maior de tipologias de uso (outras ocupações e outros níveis de cargas térmicas internas).

Para terminar gostaria de informar que ao longo do trabalho realizado apliquei vários dos conhecimentos que adquiri ao longo do curso conducente ao MiEM. Desenvolvi igualmente conhecimentos novos, nomeadamente relativos à simulação do comportamento térmico e energético de edifícios, aos diferentes sistemas/equipamentos de climatização e de preparação de AQS e à determinação dos correspondentes consumos de energia.

Em suma, este trabalho permitiu-me expandir os meus conhecimentos sobre a área conhecida como AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado). Espero, ainda, que este trabalho possa ser útil a outros interessados no tema, nomeadamente que possa contribuir para que no futuro os edifícios e os seus sistemas sejam projectados de modo a consumir energia de uma forma mais eficiente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Raimundo, A.M., 2009. Módulo técnico de RCCTE dos cursos de formação SCE do Departamento de Engenharia Mecânica – FCTUC, Coimbra.

Raimundo, A.M., 2009. Módulo técnico de RSECE – Energia dos cursos de formação SCE do Departamento de Engenharia Mecânica – FCTUC, Coimbra.

RCCTE (Decreto-Lei nº 80/2006), Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Diário da República nº 67 – I Série – A, 4 de Abril de 2006.

RSECE (Decreto-Lei nº 79/2006), Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Diário da República nº 67 – I Série – A, 4 de Abril de 2006.

SCE (Decreto-Lei nº 78/2006), Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, Diário da República nº 67 – I Série – A, 4 de Abril de 2006.

Catálogo Alação, (2010). www.alaco.pt

Santos, C. A. Pina dos; Matias, Luís (2006), “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ITE 50” Lisboa, LNEC

CEEETA (2000), “Onde se consome energia num edifício”

<http://www.ceeeta.pt/energia/>

ADENE (2004), “Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial”

Software, DesignBuilder (2009), “DesignBuilder 2.1 User’s Manual”

ANEXO A - CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO COM OCUPAÇÃO PERMANENTE - LAR PARA IDOSOS

Tabela 24. Caracterização dos espaços localizados na Cave.

Piso	Zona	Ref.	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]
-1	1		Expediente	36,72	3,00
-1	1		Elevador	4,49	3,00
-1	1		Roupa suja	5,60	3,00
-1	1		Roupa lavada	5,84	3,00
-1	1		Arrecadação	3,77	3,00
-1	1		Arrecadação Grande	38,39	3,00
-1	1		Circulação	58,32	3,00
-1	1		Grupo de emergência	9,15	3,00
-1	1		Caldeiras	20,83	3,00
-1	1	-1.1	Cave	183,11	3,00

Tabela 25. Caracterização dos espaços localizados no Rés-do-chão.

Piso	Zona	Ref.	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]
0	1		Sala de estar	27,00	3,00
0	1	0.1	Sala de estar	27,00	3,00
0	2		Quarto duplo	26,09	3,00
0	2		Quarto casal	25,07	3,00
0	2		Quarto simples	26,09	3,00
0	2		Quarto duplo	25,95	3,00
0	2	0.2	Quartos + I.S.	103,20	3,00
0	3		Quarto simples	25,73	3,00
0	3	0.3	Quarto	25,73	3,00
0	4		Circulação	66,78	3,00
0	4		Inst. Sanitárias	11,14	3,00
0	4		Sujos	3,30	3,00
0	4		Rouparia	3,10	3,00
0	4	0.4	Circulação + I.S. + Sujos	84,32	3,00
0	5		Sala pessoal	20,26	3,00
0	5		Gabinete saúde e WC	17,51	3,00
0	5	0.5	Sala + Gabinete	37,77	3,00
0	6		Quarto duplo	26,13	3,00
0	6		Quarto simples	26,11	3,00
0	6		Quarto simples	26,13	3,00
0	6		Quarto casal	25,95	3,00
0	6	0.6	Quartos + I.S.	104,32	3,00
0	7		Balneário 1	5,42	3,00
0	7		Balneário 2	5,54	3,00

0	7		Balneário 3	5,54	3,00
0	7		Balneário 4	5,42	3,00
0	7	0.7	Balneários	21,92	3,00
0	8		Cozinha	32,54	3,00
0	8		Despensa	5,08	3,00
0	8		Equipamento de refrigeração	2,38	3,00
0	8	0.8	Cozinha	40,00	3,00
0	9		Sala de refeições	82,24	3,00
0	9		Circulação		3,00
0	9	0.9	Sala de refeições	82,24	3,00
0	10		Inst. Sanitárias	4,68	3,00
0	10		Inst. Sanitárias	3,14	3,00
0	10		Inst. Sanitárias	3,85	3,00
0	10		Inst. Sanitárias	3,86	3,00
0	10		Circulação	78,18	3,00
0	10		Arrumos limpeza	3,80	3,00
0	10		Elevador	-	3,00
0	10	0.10	Escadas + I.S. + Elevador + Circulação	97,51	3,00

Tabela 26. Caracterização dos espaços localizados no Primeiro andar.

Piso	Zona	Ref.	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]
1	1		Quarto duplo	26,09	3,00
1	1		Quarto casal	25,07	3,00
1	1		Quarto simples	26,09	3,00
1	1		Quarto duplo	25,95	3,00
1	1	1.1	Quartos + I.S.	103,20	3,00
1	2		Quarto simples	25,73	3,00
1	2	1.2	Quarto	25,73	3,00
1	3		Sala de estar	27,00	3,00
1	3	1.3	Sala de estar	27,00	3,00
1	4		Circulação	66,78	3,00
1	4		Inst. Sanitárias	11,14	3,00
1	4		Sujos	3,30	3,00
1	4		Rouparia	3,10	3,00
1	4	1.4	Circulação + I.S. + Sujos	84,32	3,00
1	5		Quarto duplo	26,13	3,00
1	5		Quarto simples	26,11	3,00
1	5		Quarto simples	26,13	3,00
1	5		Quarto casal	25,95	3,00
1	5	1.5	Quartos + I.S.	104,32	3,00
1	6		Material e equipamento	15,71	3,00
1	6	1.6	Material e equipamento	15,71	3,00
1	7		Sala reuniões	20,71	3,00
1	7		Gabinete director	9,91	3,00
1	7		Gabinete administrativo	10,23	3,00
1	7	1.7	Gabinetes + Sala reuniões	40,85	3,00
1	8		Inst. Sanitárias	8,07	3,00
1	8		Inst. Sanitárias	5,08	3,00
1	8		Inst. Sanitárias	8,28	3,00

1	8		Arrumo material de limpeza	10,14	3,00
1	8	1.8	I.S. + Arrumos	31,57	3,00
1	9		Sala	80,70	3,00
1	9		Circulação		3,00
1	9	1.9	Sala	80,70	3,00
1	10		Elevador	-	3,00
1	10		Circulação + Sala Espera/Estar	93,41	3,00
1	10		Inst. Sanitárias	4,31	3,00
1	10	1.10	Elevador + Circulação + I.S.	97,72	3,00

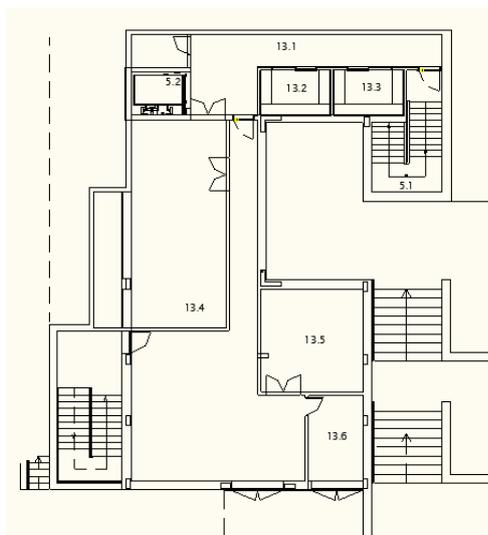


Figura 20. Planta da Cave.

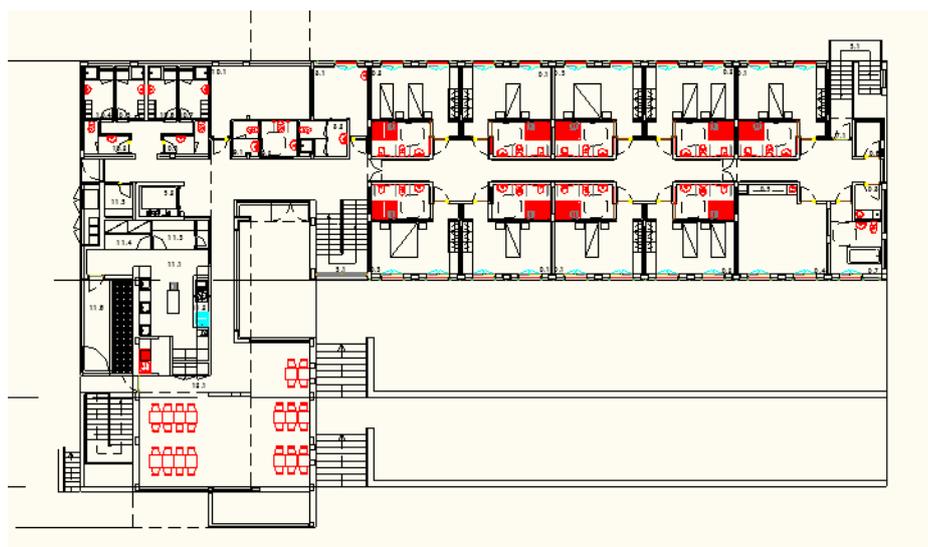


Figura 21. Planta do Rés-do-chão.

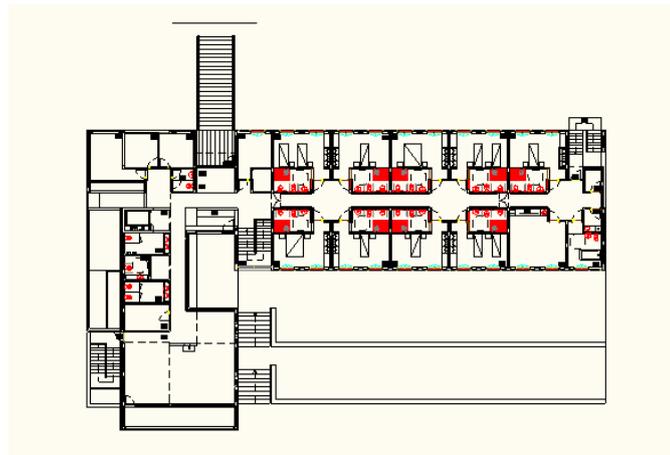


Figura 22. Planta do Primeiro andar.

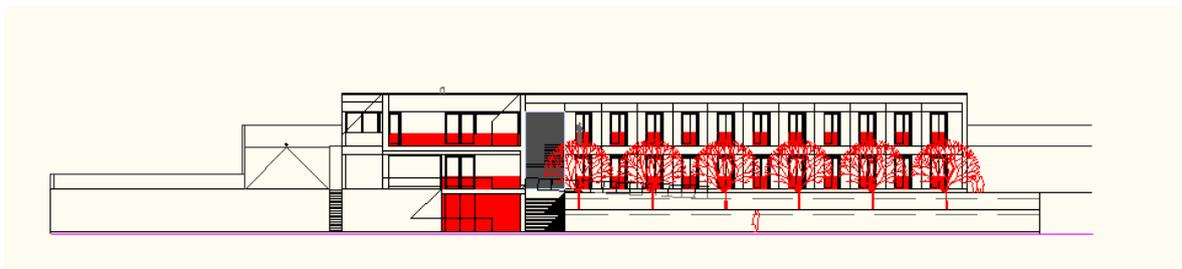


Figura 23. Alçado Sudoeste.

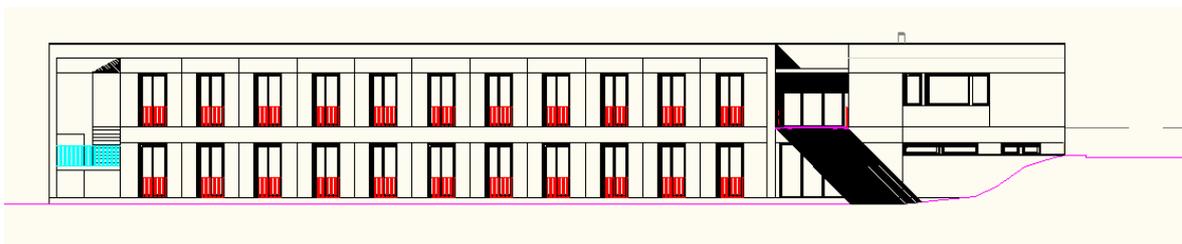


Figura 24. Alçado Nordeste.

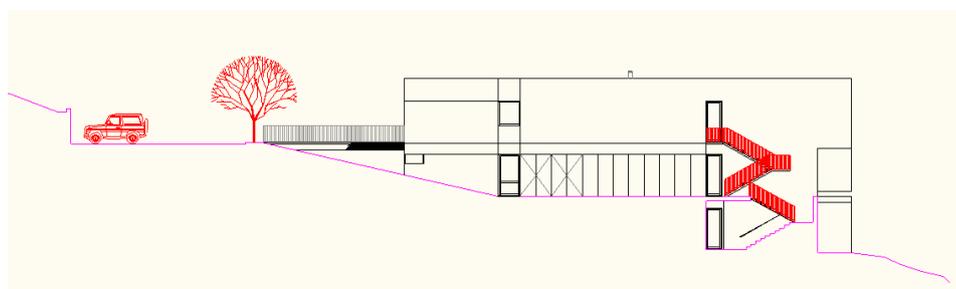


Figura 25. Alçado Noroeste.

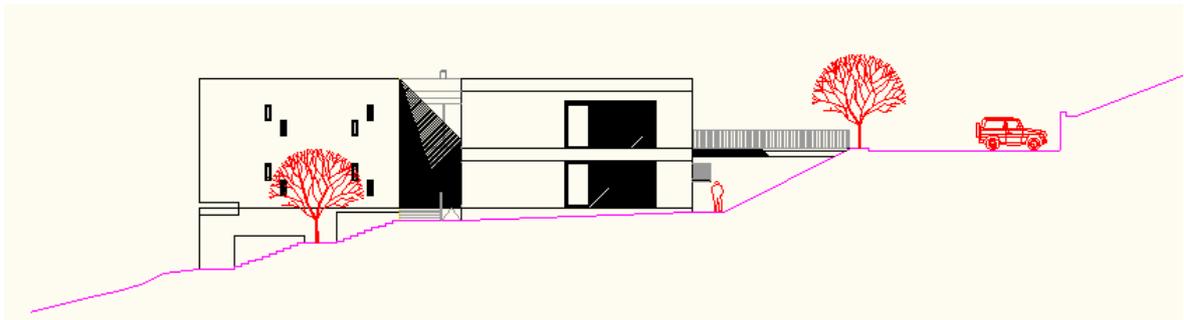


Figura 26. Alçado Sudeste.

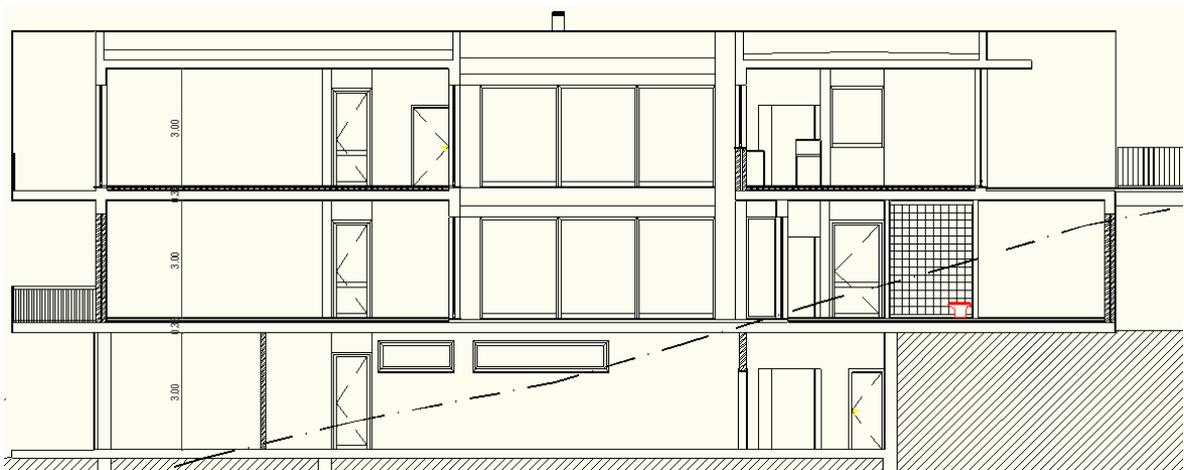


Figura 27. Corte do edifício.

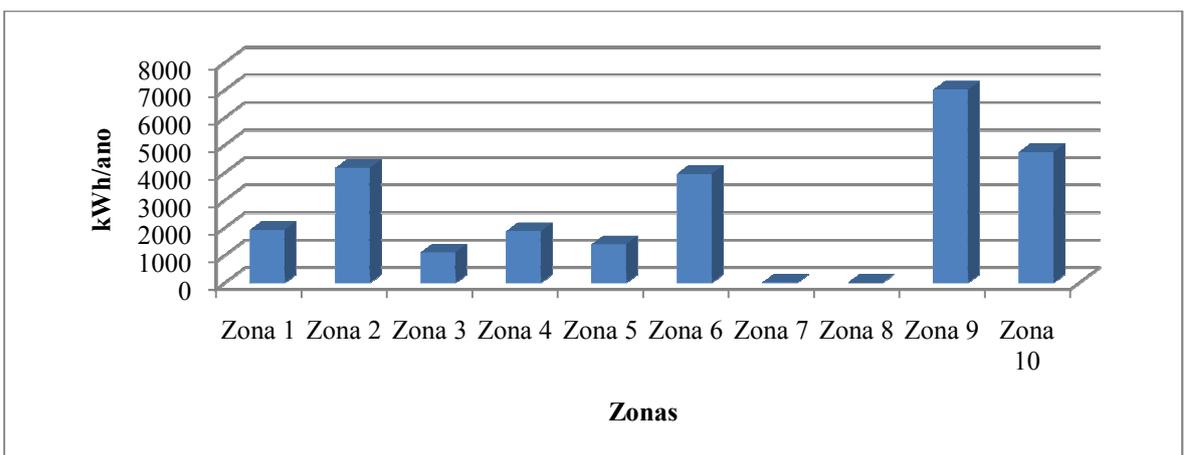


Figura 28. Consumos totais de energia do Rés-do-chão com inércia forte (*freecooling* + recuperação de calor).

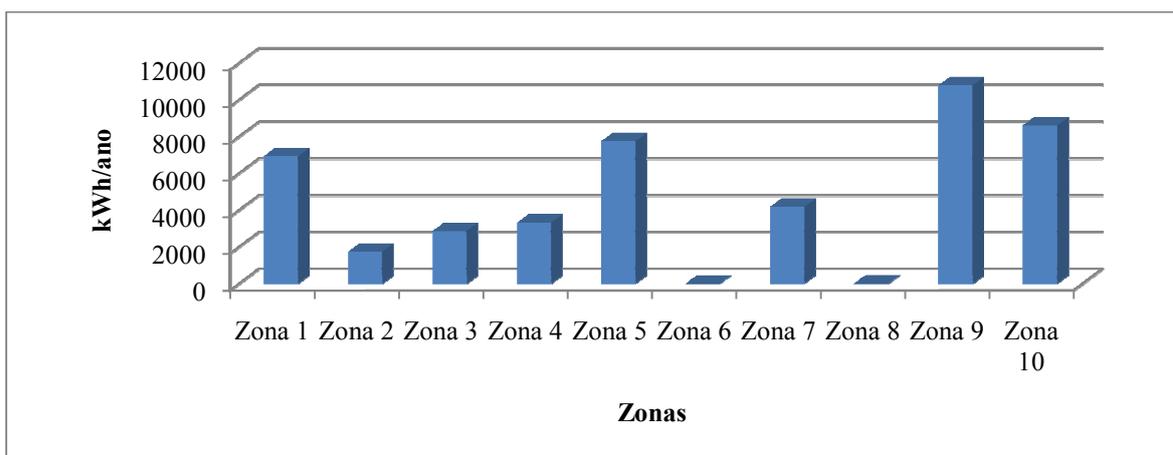


Figura 29. Consumos totais de energia do Primeiro piso com inércia forte (*freecooling* + recuperação de calor).

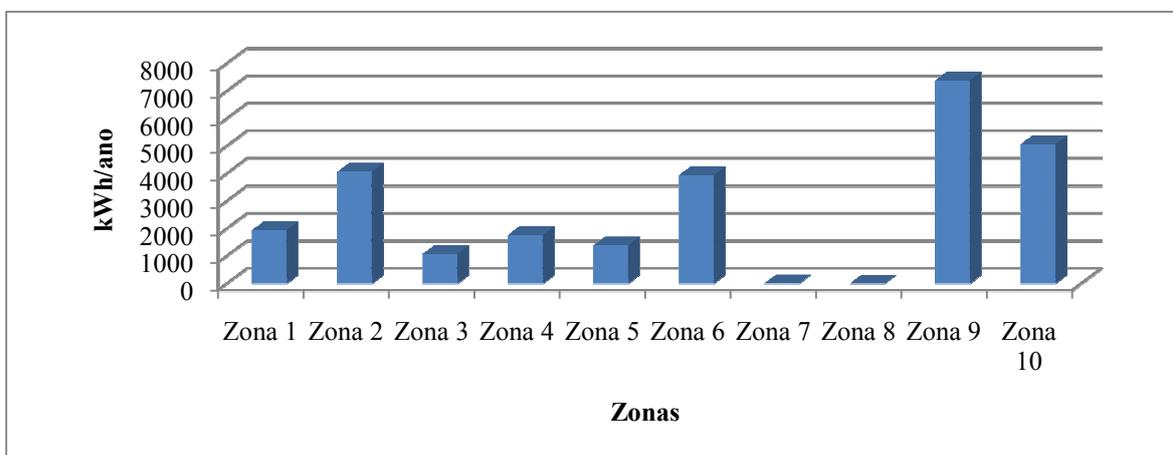


Figura 30. Consumos totais de energia do Rés-do-chão com inércia média (*freecooling* + recuperação de calor).

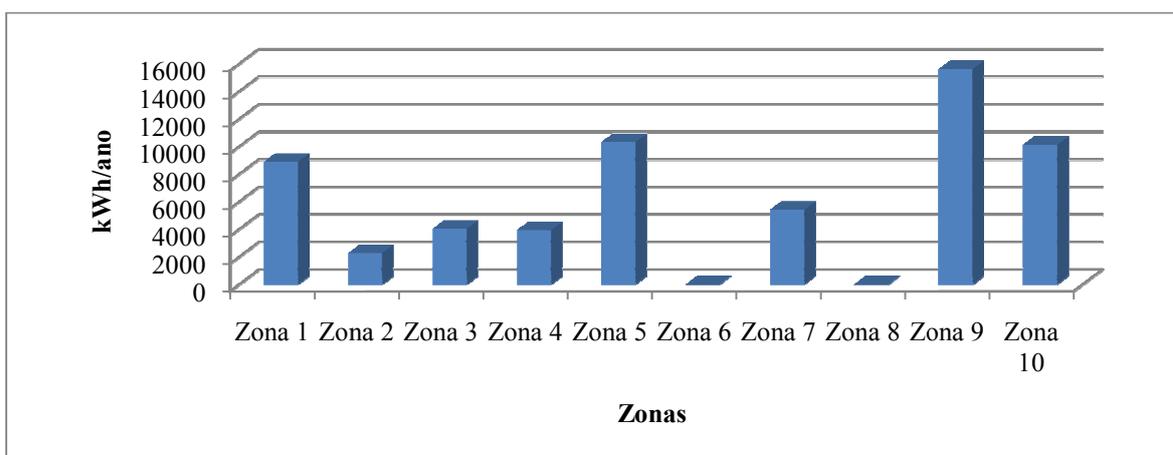


Figura 31. Consumos totais de energia do Primeiro andar com inércia média (*freecooling* + recuperação de calor).

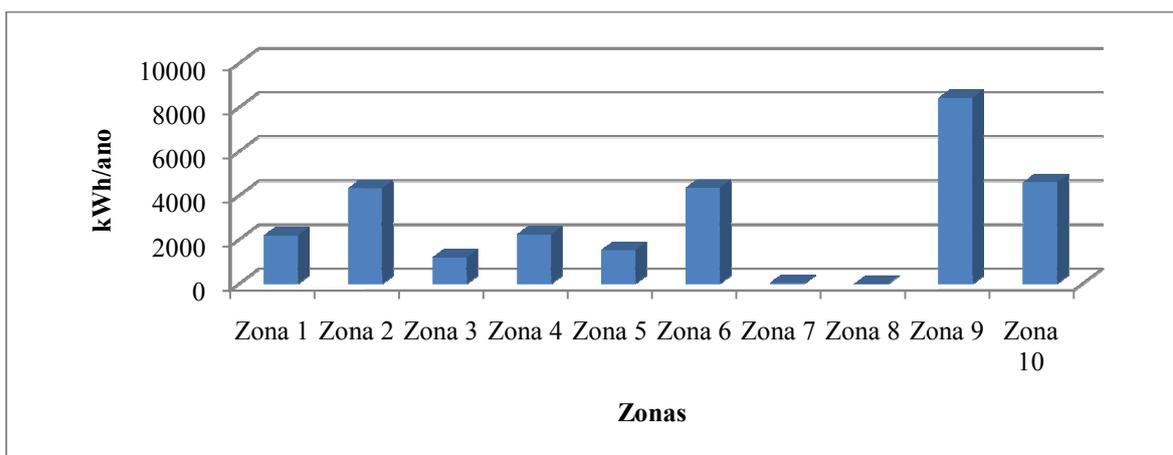


Figura 32. Consumos totais de energia do Rés-do-chão com inércia fraca (*freecooling* + recuperação de calor).

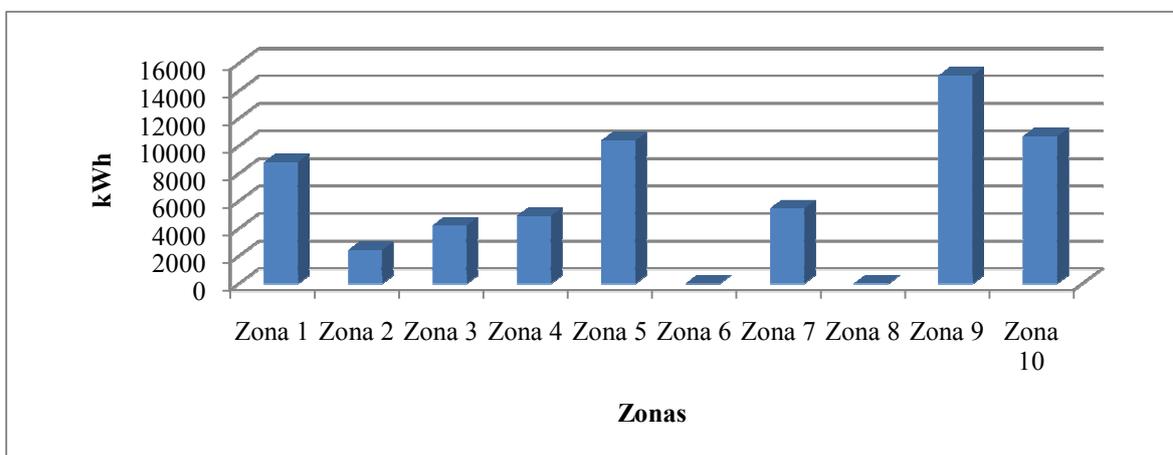


Figura 33. Consumos totais de energia do Primeiro andar com inércia fraca (*freecooling* + recuperação de calor).

ANEXO B - CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO COM OCUPAÇÃO INTERMITENTE CÍCLICA - SUPERMERCADO

Tabela 27. Caracterização dos espaços do supermercado.

Piso	Zona	Descrição	Área [m ²]	Pé direito [m]
0	1	Supermercado	774,22	3,60
0	2	Apoio supermercado	126,38	3,60
0	3	Escritório	10,91	3,60
0	4	Lojas	87,41	3,60
0	5	Cafetaria	66,15	3,60
0	6	Casa das máquinas	12,56	3,60
0	7	Armazém	31,98	3,60

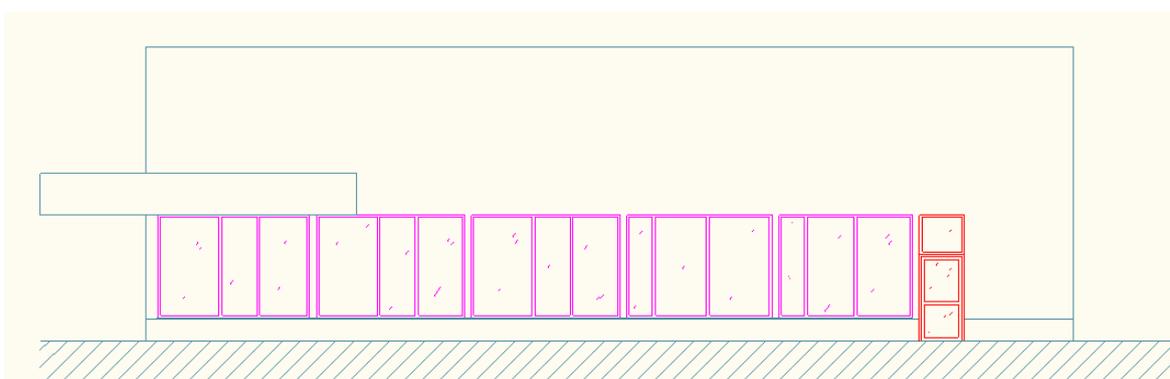


Figura 34. Alçado Sul (Supermercado).

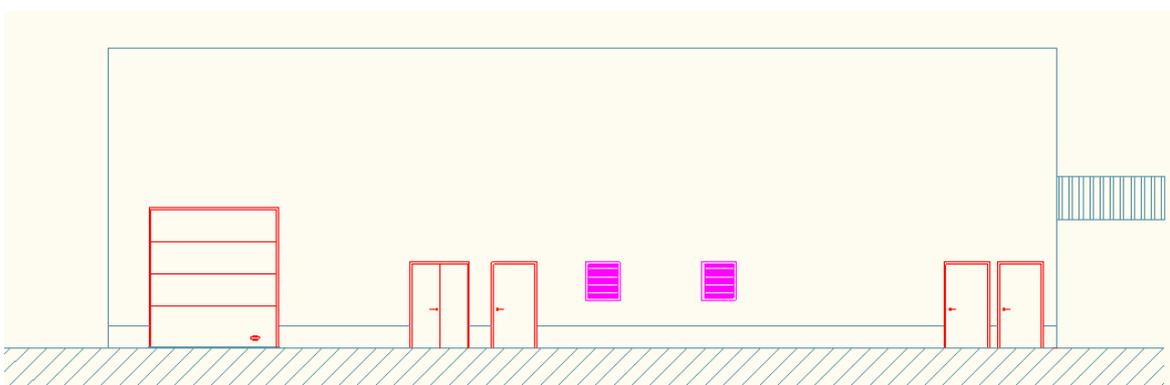


Figura 35. Alçado Norte (Supermercado).

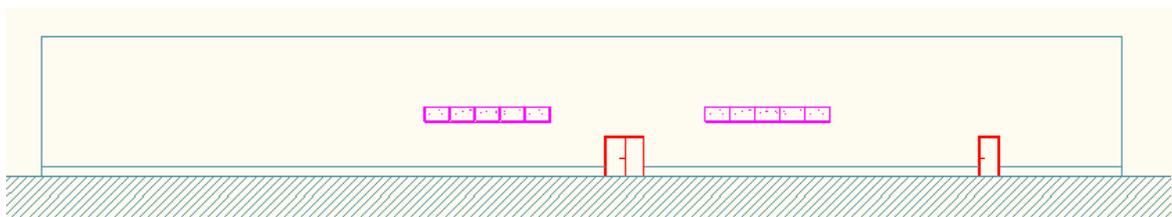


Figura 36. Alçado Este (Supermercado).

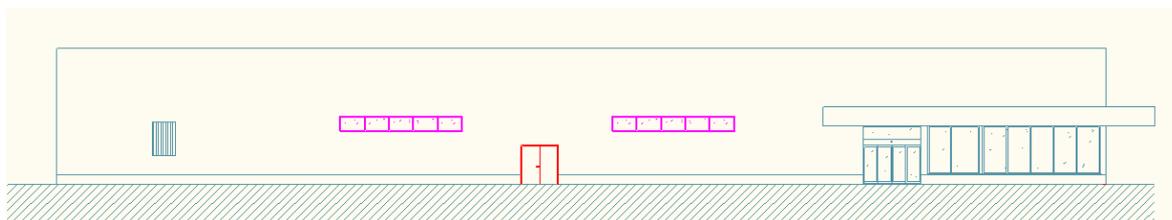


Figura 37. Alçado Oeste (Supermercado).

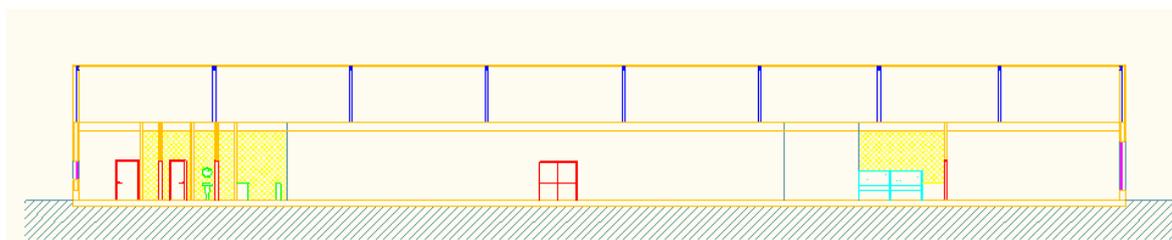


Figura 38. Corte (Supermercado).

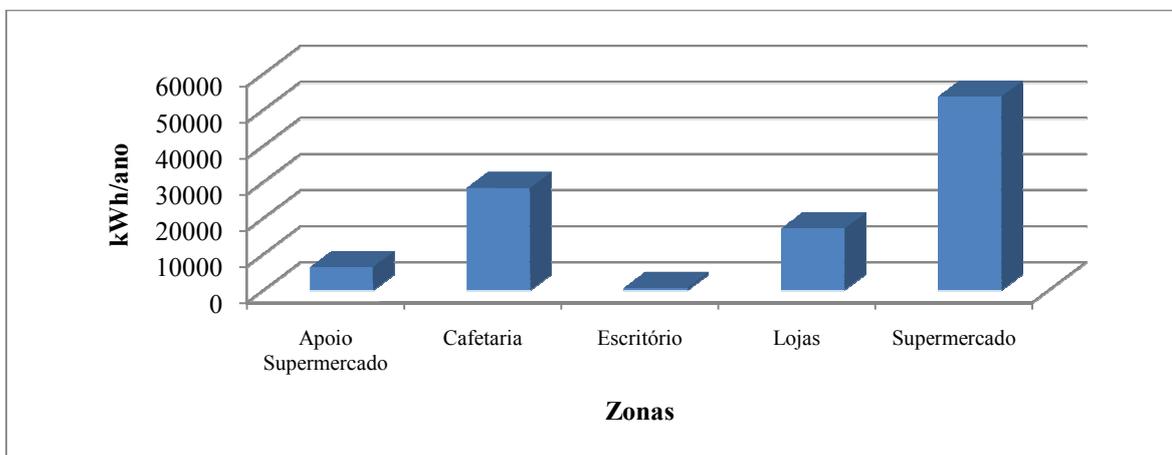


Figura 39. Consumos de energia para arrefecimento com inércia forte (*freecooling* + recuperação de calor).

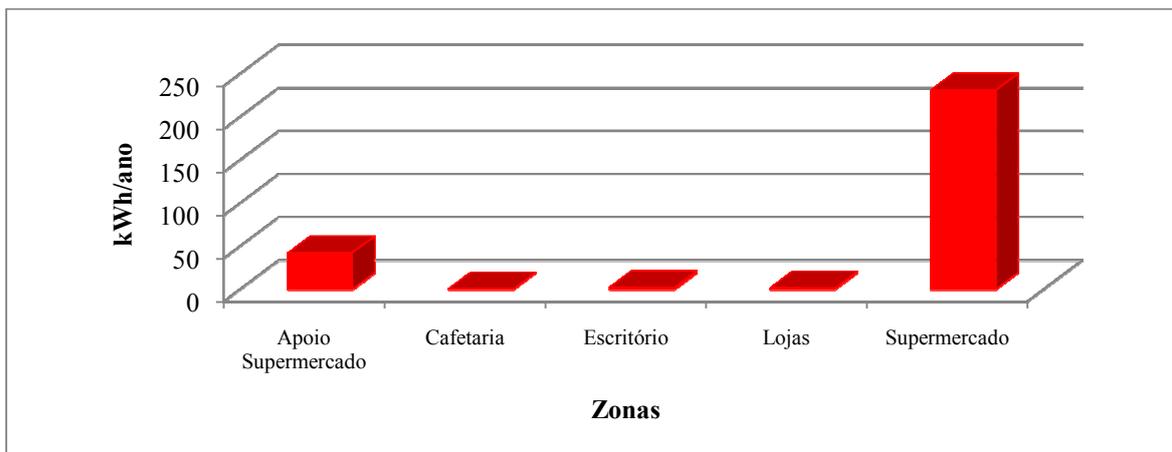


Figura 40. Consumos de energia para aquecimento com inércia forte (*freecooling* + recuperação de calor).

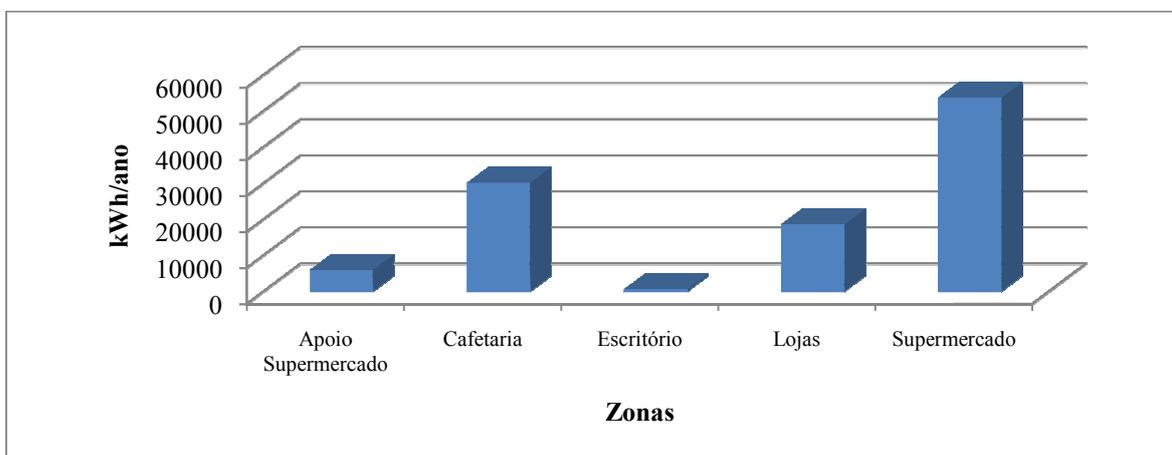


Figura 41. Consumos de energia para arrefecimento com inércia média (*freecooling* + recuperação de calor).

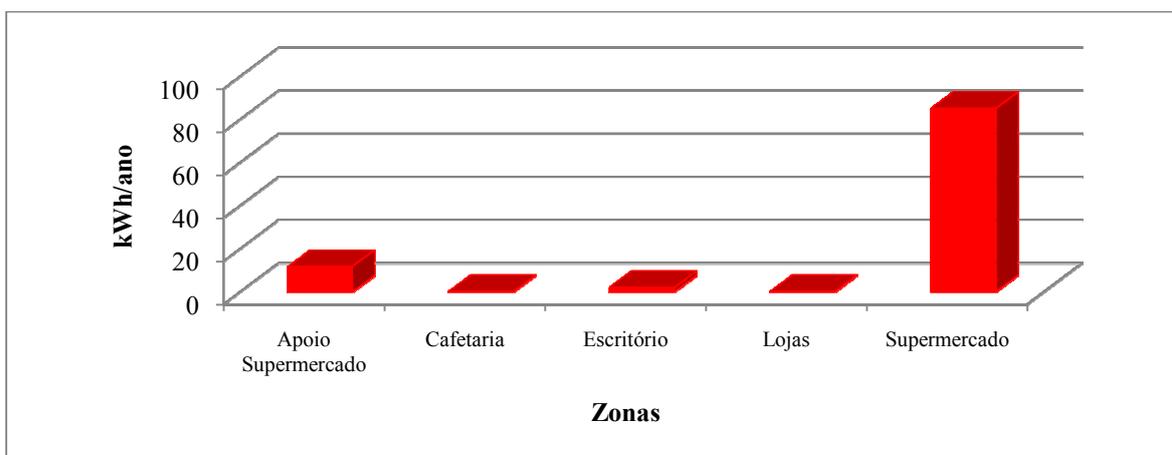


Figura 42. Consumos de energia para aquecimento com inércia média (*freecooling* + recuperação de calor).

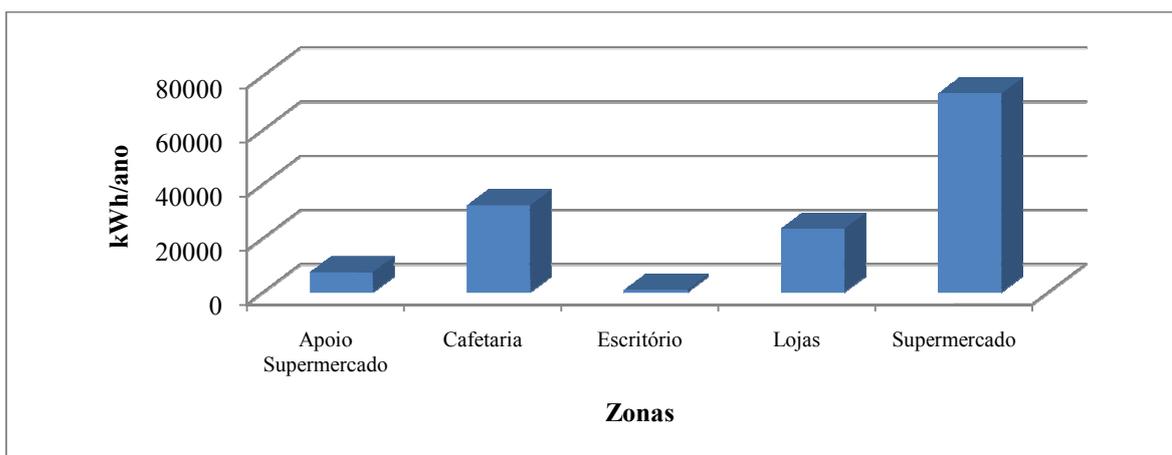


Figura 43. Consumos de energia para arrefecimento com inércia fraca (*freecooling* + recuperação de calor).

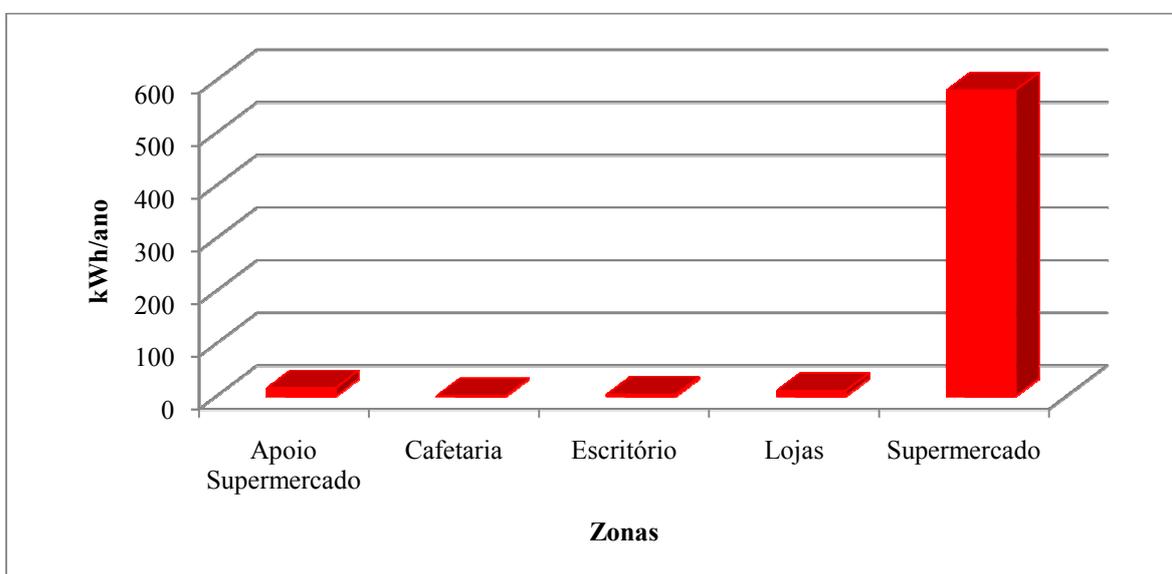


Figura 44. Consumos de energia para aquecimento com inércia fraca (*freecooling* + recuperação de calor).