UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Manuel Luís de Melo Magalhães

ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA DE ENERGIA ZERO BASEADA NO REGULAMENTO ENERGÉTICO DE PORTUGAL

Trabalho apresentado ao Curso de Gradução em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Roberto Lamberts, Dr

Florianópolis

Junho de 2011

Manuel Luís de Melo Magalhães

ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA DE ENERGIA ZERO BASEADA NO REGULAMENTO ENERGÉTICO DE PORTUGAL

Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Enegenheiro e aprovado em sua forma final pela Comissão Examinadora e pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Comissão Examinadora

_____
Orientador: Prof. Roberto Lamberts, Dr.

_____
Martin Ordenes Mitzier, Dr

_____
Verdiana Atanasio, Dra

Florianópolis
Julho de 2011

Agradecimentos

Primeiro que tudo tenho que agradecer aos meus pais, pois sem eles seria impossível realizar a excelente troca de experiências que o intercâmbio na UFSC proporciona.
Em seguida quero agradecer à minha irmã por todo o apoio e amizade demonstrado.
À minha família agradeço todo o apoio e motivação que sempre me transmitiram ao longo da minha formação académica. Agradeço à minha avó Otília que sempre foi e será uma presença e inspiração constante na minha vida.
Ao meu orientador Prof.Dr.Roberto Lamberts por ter acreditado em mim e pela sua ajuda e empenho al longo da realização deste trabalho.
A todos os meus amigos em Portugal, pelo apoio que me deram para a realização deste trabalho bem como pelo constante desejo do meu regresso.
A todas as fantásticas pessoas que conheci no Brasil, das mais variadas nacionalidades e que, me proporcionaram um excelente intercâmbio cultural e todas as condições que me permitiram realizar este trabalho.

"*Desenvolvimento Sustentável é aquele que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais*." Relatório Brundtland.

Resumo

Cada vez mais o mundo se depara para a questão da eficiência energética dos espaços onde as pessoas habitam e trabalham. Estima-se que, na Europa, por exemplo, as pessoas passem entre 80 a 90% da sua vida dentro de edifícios.

Este trabalho propõe o estudo de diferentes soluções construtivas e de sistemas, de forma a se obter uma maior eficiência energética em um edifício já existente, reduzindo assim as necessidades energéticas do mesmo. Com a ajuda do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) como ferramenta para avaliar e otimizar as necessidades energéticas da habitação, quer para o aquecimento, quer para o arrefecimento e produção de água, foram analisadas sucessivas melhorias ao nível da envolvente exterior, dos vãos envidraçados, da ventilação, de equipamentos de climatização e de preparação de águas quentes sanitárias (AQS) de forma a otimizar o máximo possível o desempenho energético do edificío. A habitação foi também equipada com um sistema de coletores fotovoltaicos para produção da energia elétrica necessária, pois com a entrada em vigor do DL nº 363/2007 de 2 de Novembro que veio regulamentar as instalações de microprodução de energia elétrica através de fontes de energia renováveis e a venda dessa energia à rede pública.

Estudou-se também o impacto dos equipamentos de climatização e de preparação das AQS, bem como influência da zona climática em que o edifício se encontra na classificação energética da edificação.

Cada vez mais é necessário que o setor imobiliário comece a marcar a diferença, oferecendo edifícios com base em arquitetura bioclimática e boas soluções construtivas, e dotados de sistemas de aproveitamento de energias renováveis. Assim poderão apresentar ao consumidor final edifícios cada vez mais eficientes e com certificados energéticos de elevada classificação, reduzindo a fatura a pagar ao longo da vida útil do edifício. Desta forma, todos saem ganhando: construtor, consumidor e, acima de tudo, o meio ambiente.

Palavras-chave: Sustentabilidade, eficiência energética, energias renováveis, otimizar.

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 - Fachada Sul da Casa Eficiente onde se pode observar o painel fotovoltaico. [19] 15
Figura 2 - Vista geral do condomínio BedZEB. 15
Figura 3 - Esquema das fontes de energia usadas no condomínio. 16
Figura 4 - Vista geral da fachada sul do edifício SOLAR XXI. [2] 16
Figura 5 - Traçado da tubagem entre o poço de admissão e o interior do edifício. [2]. 16
Figura 6 - Vista aérea de Beaufort Court. [5] 17
Figura 7 - Esquema das fontes de enrgia em Beaufort Court. [5]. 17
Figura 8 - Consumo de energia primária em Portugal. [7] 18
Figura 9 - Fontes de Energia Renovável em 2009 em Portugal. [7] 18
Figura 10 - Consumo de energia final por setor (dados de 2009). [7] 18
Figura 11 - Repartição do consumos no setor doméstico em Portugal. 19
Figura 12 - Sistema fotovoltaico fixo. [11]. 21
Figura 13 - Esquema do funcionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede. [8] 21
Figura 14 - Estimativa da capacidade instalada na Europa em 2010 de sistema solares fotovoltaicos (MW). [21] 22
Figura 15 - Estimativa da capacidade acumulado na Europa em 2010 de sistemas solares fotovoltaicos (MW). [21] 22
Figura 16 - Exposição solar na Europa e Portugal. 23
Figura 17 - Mercado do solar térmico na Europa dos 27 e Suiça: m2 instalados ao longo dos anos. [10]. 23
Figura 18 - Mercado da energia solar térmica em Portugal: m2 instaldos ao longo dos anos. [10] 24
Figura 19 - Perfil de um coletor solar plano. [10] 24
Figura 20 - Esquema ilustrativo do funcionamento de um coletor solar plano. [8]. 24
Figura 21 - Coletor Parabólico Composto (CPC). [9] 25
Figura 22 - Sistema de coletores de vácuo. [9]. 25
Figura 23 - Vista de perfil de um coletor de vácuo. [9] 26
Figura 24 - Aquecedor a gás. 26
Figura 25 - Termoacumulador elétrico. 27
Figura 26 - Localização de Santiago do Cacém no zonamento climático português. [13] 28
Figura 27 - Zonas Climáticas de Inverno. [25] 28
Figura 28 - Zonas Climáticas de Verão. [25]. 28
Figura 29 - Percurso do sol em Portugal, ao longo do ano. [14] 29
Figura 30 - Planta do piso térreo. 29
Figura 31 - Planta do piso 1. 30
Figura 32 - Pormenor construtivo das paredes exteriores. 31
Figura 33 - Pormenor construtivo das paredes exteriores em contato com o solo. 32
Figura 34 - Pormenor construtivo da paredes em contato com o arrumo 17 e dependência agrícola. 33
Figura 35 - Pormenor construtivo das paredes em contato com espaços não-úteis (circ.nº12). 33
Figura 36 - Pormenor construtivo da parede na zona de talões de viga, vigas ou pilares. 34
Figura 37 - Pormenor construtivo da cobertura ajardinada. 36
Figura 38 - Pormenor construtivo da cobertura não ajardinada. 37
Figura 39 - Pormenor construtivo do pavimento sobre o exterior. 38
Figura 40 - Planta da habitação, dependências agrícolas e áreas exteriores (piso 0). 39
Figura 41 - Planta do piso1 onde é possível observar a cobertura ajardinada. 40
Figura 42 - Definição da envolvente do piso 0. 41
Figura 43 - Definição da envolvente do piso 1. 42
Figura 44 - Exemplo de transmissão de calor através de elementos em contato com o solo. [13] 46
Figura 45 - Exemplo ilustrando a transmissão de calor através de uma ponte térmica linear, tratando-se neste caso, de uma ligação entre duas parades verticais (corte horizontal). 47
Figura 46 - Tabela das várias classes energéticas do RCCTE. 67
Figura 47 - Artigo 18º do RCCTE. [13] 73
Figura 48 - Anexo VI, ponto 3 do RCCTE onde se enumeram os valores de referência para os vários equipamentos de preparação de AQS. [13] 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo de U da parede exterior 1(A). 31
Tabela 2 - Cálculo de U da parede exterior em contato com o solo 1(B). 32
Tabela 3 - Cáculo de U das paredes em cotato com espaços agrícolas não úteis - arrumo 17 e Dep.Agrícolas 1(D). 33
Tabela 4 - Cálculo das paredes em contato com espaços não úteis - Circulação nº12, 1(E), Chaminé. 34
Tabela 5 - Cálculo de U da parede interior. 34
Tabela 6 - Cálculo de U da parede exterior (zona da pilar e viga) - PTP 1(C). 35
Tabela 7 - Cálculo de U da cobertura ajardinada 2(A). 36
Tabela 8 - Cálculo de U da cobertura não ajardinada 2(B). 37
Tabela 9 - Cálculo de U do pavimento sobre o exterior 2(B). 38
Tabela 10 - Cálculo de U do pavimento interior em contato com o solo. 38
Tabela 11 - Cálculo de U do pavimento interior em contato com o solo. 39
Tabela 12 - Áreas de cada divisão da habitação. 40
Tabela 13 - Áreas de cada divisão das dependências agrícolas e espaços exteriores. 41
Tabela 14 - Tabela de auxílio ao cálculo da Inércia Térmica Interior. 43
Tabela 15 - Perdas de calor pelas paredes exteriores. 48
Tabela 16 - Perdas calor pelo pavimentos exterior. 48
Tabela 17 - Perdas de calor pela cobertura. 48
Tabela 18 - Perdas de calor pelas paredes e pavimentos em contato com o solo. 48
Tabela 19 - Perdas de calor pelos envidraçados. 49
Tabela 20 - Perdas de calor através das PTL. 49
Tabela 21 - Perdas associadas à renovação de ar. 51
Tabela 22 - Ganhos úteis na estação de aquecimento. 54
Tabela 23 - Cálculo das Necessidades de Aquecimento Máximas. 55
Tabela 24 - Ganhos úteis totais. 55
Tabela 25 - Cálculo do indicador de Nic. 56
Tabela 26 - Perdas associadas a pavimentos, coberturas e envidraçados exteriores (Verão). 58
Tabela 27 - Perdas térmicas totais. 58
Tabela 28 - Ganhos solares pela envolvente opaca 60
Tabela 29 - Ganhos solares pelos envidraçados exteriores. 61
Tabela 30 - Ganhos Internos Totais. 62
Tabela 31 - Cálculo do fator de utilização dos ganhos. 63
Tabela 32 - Cálculo das Necessidades Nominais de Arref.Máxima Nv. 63
Tabela 33 - Cálculo das Necessidaes de energia para preparação de água quente sanitária. 65
Tabela 34 - Vários tipos de necessidades, eficiências dos sistemas de climatização e AQS, e fatores de conversão. 66
Tabela 35 - Ntc e Nt. 66
Tabela 36 - Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas na estação de aquecimento considerando as soluções de projeto. 67
Tabela 37 - Dados estatísticos relativos a ganhos térmicos ocorridos na estação de arrefecimento considerando as soluções de projeto. 68
Tabela 38 - Mapa de valores nominais para o edifício considerando as diferentes soluções de paredes exteriores. 68
Tabela 39 - Coeficientes de transmissão térmica de referência segundo a publicação europeia *U-Values for Better Energy Performance of Buildings, Report established ECOFYS for Eurima.*[10] 69
Tabela 40 - Variação dos valores nominais para o edifício aplicando os coeficientes de ransmissão térmica de referência. 69
Tabela 41 - variação das perdas térmicas verificadas na estação de aquecimento com a aplicação dos coeficientes de transmissão térmica de referência. 69
Tabela 42 - Variação das perdas e ganhos térmicos verificados na estação de arrefecimento com a aplicação dos coeficientes de transmissão térmica de referência. 70
Tabela 43 - Variação dos valores nominais para o edifício cumprindo a taxa de renovação de ar mínima. 71
Tabela 44 - Variação das perdas térmicas verificadas na estação de aquecimento com o cumprimento da taxa de renovação de ar mínima. 71
Tabela 45 - Variação das perdas térmicas verificadas na estação de arrefecimento com o cumprimento da taxa de renovação de ar mínima. 71
Tabela 46 - Variação dos valores nominais para o edificio com a alteração dos vãos envidraçados. 72
Tabela 47 - Variação das perdas verificadas na estação de aquecimento com a alteração dos vãos envidraçados. 72
Tabela 48 - Variação das perdas e ganhos verificadas na estação de arrefecimento com a alteração dos vãos envidraçados. 72

Tabela 49 - Influência do tipo de equipamento utilizado para o sistema de aquecimento e sistema de arrefecimento na classificação final. 74
Tabela 50 - Influência do tipo de equipamento de preparação das AQS na classificação final. 74
Tabela 51 - Variação dos valores nominais para o edifício com a adoçao de uma bomba de calor. 75
Tabela 52 - Variação dos valores nominais para o edifício com a adoção de uma bomba de calor. 75
Tabela 53 - Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas na estação de aquecimento após otimização da eficiência energética do edifício. 76
Tabela 54 - Dados estatísticos relativos a perdas e ganhos térmicos ocorridas na estação de arrefecimento após otimização da eficiência energética do edifício. 76
Tabela 55 - Variação das perdas ocorridas na estação de aquecimento e da respectiva necessidade energética decorrente das sucessivass melhorias realizadas com vista à melhoria da eficiência energética do edifício. 77
Tabela 56 - Variação percentual das perdas e ganhos térmicos ocorridos na estação de arrefecimento e da respectiva necessidade energética, decorrente das sucessivas melhorias realizadas com vista à melhoria da eficiência energética do edifício. 77
Tabela 57 - Influência do tipo de equipamentos de climatização e de preparação de AQS na classificação energética do edifício, considerando a solução otimizada. 78
Tabela 58 - Influência do tipo de equipamentos de climatização e de preparação de AQS na classificação ener´getica do edifício, considerando a solução de projeto. 79
Tabela 59 - Dados climáticos mais condicionantes para a zona climática I3, V3. 79
Tabela 60 - Influência da zona climática na classificação energética do edifício, considerando a solução de projeto. 80
Tabela 61 - Influência da zona climática na classificação energética do edifício, considerando a solução otimizada. 80
Tabela 62 - Número de módulos e área do painél fotovoltaico. 81

SUMÁRIO

1. Introdução 13
1.1. Desenvolvimento sustentável 13
1.2. Construção Sustentável 13
1.3. Zero Energy Building 14
1.4. Alguns Exemplos de Casas de Energia Zero. 14
1.4.1. Área residencial 14
1.4.1.1. Casa Eficiente (ELETROSUL, ELETROBRÁS, PROCEL, LABEEE UFSC) – Florianópolis/SC-Brasil [13] 14
1.4.1.2. Beddington Zero Energy Development (BedZEB) – United Kingdom [20] 15
1.4.2. Área comercial 16
1.4.2.1. Edifício Solar XXI [8] 16
1.4.2.2. Beaufort, Kings Langlet, Reino Unido [1] 17
1.5. Caraterização energética em Portugal 18
1.5.1. Visão Geral 18
1.5.2. Setor Domestico 19
1.6. Objetivo 19

2. Estratégias Bioclimáticas 20
2.1. Envolvente exterior 20
2.2. Vãos Envidraçados 20
2.3. Ventilação 20
2.4. Cor dos revestimentos 20
2.5. Equipamentos passíveis de serem utilizados no edifício 21
2.5.1. Energia solar 21
2.5.1.1. Energia Solar Fotovoltaica 21
2.5.1.2. Energia Solar Térmica 23
2.5.2. Outros aparelhos para Produção de Água Quente para uso domestico 26
2.5.2.1. Aquecedores a Gás 26
2.5.2.2. Caldeiras 26
2.5.2.3. Termoacumuladores elétricos 27

3. Caso de Estudo 27
3.1. Introdução 27
3.2. Conforto térmico 27
3.3. Considerações Gerais 28
3.3.1. Orientação geográfica 28
3.4. Aspetos construtivos, coeficiente de transmissão térmica U e inércia térmica I_t 30
3.5. Paredes 31
3.5.1. Paredes Exteriores em contato com o ar 31
3.5.2. Paredes exteriores em contato com o solo 32
3.5.3. Paredes em contato com espaço não útil. 32
3.5.4. Paredes interiores 34
3.5.5. Paredes exteriores na zona do pilar e viga 34
3.6. Coberturas 35
3.6.1. Cobertura exterior ajardinada 35
3.6.2. Cobertura não ajardinada 36
3.7. Pavimentos 38
3.7.1. Pavimentos em contato com o exterior. 38
3.7.2. Pavimentos interiores em contato com o solo 38
3.8. Envidraçados 39
3.9. Planta do edifício 39
3.10. Cálculo da Inércia Térmica Interior do Edifício (I_t) 42
3.11. Cálculo do fator de forma do edifício 43

4. Certificação Energética do edifício 43
4.1. RCCTE – Âmbito de aplicação e algumas considerações 43
4.2. RCCTE – Aplicação ao edifício em estudo. 44
4.2.1. Cálculo das necessidades de aquecimento (N_{ic}) 44
4.2.1.1. Perdas de calor por condução através da envolvente (Q_t) 45
4.2.1.2. Perdas de calor resultantes da Renovação do Ar (Q_v) 50
4.2.1.3. Ganhos de calor por condução através da envolvente (Q_{GU}) 51

4.2.2.1. Ganhos pela envolvente (Q_1) ... 57
4.2.2.2. Ganhos solares através dos envidraçados (Q_2) ... 61
4.2.2.3. Ganhos térmicos internos (Q_3) ... 62
4.2.2.4. Cálculo do fator de utilização dos ganhos (η) ... 63
4.2.3. Cálculo das necessidades energéticas para a produção de AQS (N_{AC}) ... 64
4.2.3.1. Energia dispendida nos sistemas convencioanais (Q_a) ... 64
4.2.4. Necessidades Globais de Energia Primária, N_{TC} ... 65
4.2.4. Análise de Sensibilidade ... 67

5. Otimização do projeto ... 68
5.1. Análise de diferente solução para a parede exterior ... 68
5.2. Aplicação dos coeficientes de transmissão térmica de referencia ... 69
5.3. Garantia da taxa de renovação mínima. ... 70
5.4. Alteração dos vãos envidraçados. ... 71
5.5. Equipamentos de Climatização e de Preparação de AQS. ... 73
5.6. Influencia do tipo de equipamentos de climatização e de preparação de AQS. ... 78
5.7. Influência da Zona Climática ... 79

6. Sistema de Produção de Energia eletrica ... 81

7. Conclusões ... 82

Referencias Bibliográficas ... 83

ANEXOS ... 85

1. Introdução

1.1. Desenvolvimento sustentável

Desde o início da Revolução Industrial e até ao final do século passado houve um grande crescimento económico culminou no consumo de vários recursos naturais. Esta conduta de consumo levou a que surgissem diversas alterações climáticas, como por exemplo maior frequência de fenómenos extremos (secas, excesso de chuvas, etc...). Nas ultimas duas décadas a humanidade começou a ganhar consciência dos impactos das alterações climáticas e a atuar no sentido de reveter ou pelo menos atenuar esta perigosa tendência. As alterações climáticas resultam do aquecimento global que por sua vez resultam da emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE) para a atmosfera, desencadeando o chamado efeito de estudo que leva a um aquecimento da temperatura da superfície terrestre.

Nesse sentido têm sido desenvolvidas diversas iniciativas e instrumentos para tentar estabilizar a concentração de GEE na atmosfera. As mais conhecidas foram a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) na Conferencia do Rio (1992), Protocolo de Quioto (1998), Agenda 21 e mais recentemente o Acordo de Copenhaga.

Assim sendo o tema "desenvolvimento sustentável" começou a ser um assunto cada vez mais debatido pelo homem. O conceito de desenvolvimento sustentável é um conceito que abrange várias áreas, no entanto e independentemente disso todas elas concordam num ponto: o do equilíbrio entre o crescimento económico, equidade social e a proteção do ambiente.

Muitas vezes pensa-se que o desenvolvimento esta intimamente ligado com o crescimento económico e que este por sua vez está ligado ao consumo crescente de energia e recursos naturais. Esse tipo de desenvolvimento é precisamente o desenvolvimento insustentável, pois leva ao esgotamento dos recursos naturais dos quais a humanidade depende.

Um dos pontos de partida para o desenvolvimento sustentável é a humanidade ter a capacidade de reconhecer que os recursos naturais são finitos. Esta mentalidade levou a que a questão ambiental seja incorporada no desenvolvimento sustentável.

Atividades económicas podem ser encorajas com crescimento económico, que depende do consumo crescente de energia e recursos naturais dos países. Desses recursos dependem não só a existência humana e a diversidade biológica como o próprio crescimento económico.

De fato, o desenvolvimento sustentável sugere uma aposta na redução do uso de matérias primas e produtos e o aumento da reutilização e da reciclagem.

Portugal, assim como outros países, definiu um conjunto de metas que visam promover a sustentabilidade. Essas estratégias abrangem diversas áreas, entre as quais: garantir o desenvolvimento equilibrado do território, melhorar a qualidade do ambiente, promover a produção e consumo sustentáveis e contribuir para uma sociedade solidária e do conhecimento.

1.2. Construção Sustentável

O setor da construção tem um grande impacte na economia, com uma forte incidência no volume do emprego, no PIB e na formação bruta do capital fixo, tendo ainda um efeito de arrastamento apreciável nas restantes áreas económicas. Este setor é dos maiores empregadores da União Europeia e estima-se que 7% do postos de trabalho de todo o mundo dependam da construção civil, e que chegue mesmo aos 23% (UNEP, 2003) em países em desenvolvimento.

É então previsível que esta atividade económica além de potenciar um importante efeito económico e social também afete o meio ambiente, com a ocupação e uso do solo, o consumo de recursos, a produção de resíduos em larga escala, bem como a alteração dos ecossistemas naturais.

É precisamente nas áreas mais desenvolvidas que as questões ambientais dos edifícios têm estado menos presentes sendo que, hoje a redução de CO_2 e do consumo de água potável são duas áreas chave para a sustentabilidade.

Estima-se que na Europa as pessoas passem em média entre 80 a 90% do seu tempo dentro de edifícios. Logo métodos de construção incorretos podem ter um efeito significativo na saúde dos ocupantes dos edifícios e podem ter como resultado edifícios com elevada manutenção, aquecimento e arrefecimento dispendiosos. A escolha dos materiais e soluções (por vezes com componentes de toxicidade), inadequada concepção e a manutenção dos equipamentos de climatização, podem originar importantes problemas de saúde pública.

É então imperativo otimizar os modos de concepção, construção, renovação e demolição dos edifícios e do meio ambiente construído, de modo a permitir melhorias significativas no desempenho ambiental e económico dos espaços edificados e na qualidade de vida dos cidadãos. [19]

1.3. Zero Energy Building

A ideia principal que surge no conceito dos *Zero Energy Building* (ZEB), é a de que os edifícios podem satisfazer todas as suas necessidades energéticas sem poluir e através de fontes de energia renováveis. Basicamente um *ZEB* gera energia suficiente ou superior para igualar ou exceder a demanda anual de energia que precisa.

O desenvolvimento dos *ZEB* ou *Edifício de Energia Zero* é possível não só devido ao progresso de novas técnicas construtivas, como também aos avanços significativos que a área académica efetuou nos tradicionais edifícios, bem como nos edifícios exprimentais, de forma a recolher os dados energéticos suficientes e saber onde é melhor atuar. De realçar que a energia pode ser medida sobre várias formas (custo, energia ou emissões de carbono).

Embora este tipo de edifícios ainda não sejam comuns nos países ditos desenvolvidos, estes têm ganho popularidade e importância.

Vale ressaltar que os edifícios que se aproximam bastante do balanço zero de energia podem ser chamados de "ultra-low energy buildings" ou edifícios de muito baixa energia.

Hoje em dia as tecnologias empregues nestes edifícios só são possíveis de chegar ao consumidor final através de incentivos governamentais ou mudanças nas leis e regulamentos de cada país.

O primeiro passo para uma casa deste tipo começa logo no projeto. O projetista deve levar em conta a orientação solar onde o edifício vai assentar, as caraterísticas climáticas da zona, as soluções construtivas da envoltória, entre outros. Deve-se ter também dar atenção as propriedades dos envidraçados, a ventilação natural (estudar a rosa dos ventos do local), entre outras técnicas. Em seguida devem ser dimensionados sistemas de aquecimento de águas ultra-eficientes (grande parte dos consumos dos edifícios atuais são devido ao aquecimento de águas domésticas) de preferencia recorrendo à energia solar. Por fim a tecnologia solar fotovoltáica será necessária para suprir a restante energia consumida pelo edifício. [24]

1.4. Alguns Exemplos de Casas de Energia Zero.

Aqui serão expostos alguns exemplos de edifícios auto-suficientes em Portugal e no resto do mundo.

1.4.1. Área residencial

1.4.1.1. Casa Eficiente (ELETROSUL, ELETROBRÁS, PROCEL, LABEEE UFSC) – Florianópolis/SC-Brasil [13]

A Casa Eficiente situada próxima ao edifício da ELETROSUL em Florianópolis, foi projetada para se tornar um exemplo de como deve ser um edifício eficientemente energético.

Esta casa está projetada em sintonia com as características climáticas da região onde se insere e funciona como centro de pesquisa, onde são monitoradas as diferentes tecnologias utilizadas. O grande destaque da casa é a geração de energia eletrica através de um sistema fotovoltaico conectado à rede e instalado na cobertura central da casa. O painel foi instalado de acordo com a inclinação de Florianopolis (27º de latitude) de forma a obter o seu máximo rendimento.

Existem ainda, nas coberturas laterais, coletores solares responsáveis pelo aquecimento da agua dos chuveiros e torneiras. Também interessante é o aquecimento ambiental dos quartos que é feito por meio da circulação de água quente em tubulações de cobre dispostas junto ao rodapé.

Existe também um eficiente sistema de re-uso das águas: a água da chuva é armazenada e utilizada para fins não potáveis (descarga do vaso sanitário, maquina de lavar roupa, tanque e lavagem de piso) enquanto que os efluentes de banho, tanque e lavatório são tratados em um leito cultivado e parte deles são usados na irrigação do jardim.

As características construtivas também foram muito importantes para o conforto térmico sentido dentro da casa, realçando-se as as mantas de lã de rocha usadas entre as alvenarias, assim como as cobertura com manta de lã de rocha, polietileno aluminizado e com vegetação (teto-jardim).

Existem ainda persianas externas de PVC e pergolados de madeira que permitem o sombreamento solar bem como, materiais com menor impacto ambiental como concreto reciclado, madeira de reflorestamento, tijolo de produção local, entre outros.

Figura 1 - Fachada Sul da Casa Eficiente onde se pode observar o painel fotovoltaico. [13]

1.4.1.2. Beddington Zero Energy Development (BedZEB) – United Kingdom [20]

Este condomínio sustentável criado em Hackbridge, Londres foi desenhado pelo arquiteto Bill Dunster. No total são 99 casas.

O projeto foi construído para usar apenas energias de fontes renováveis geradas no local. Para isso existem 777 m^2 de painéis solares, bem como *TreeStations* que basicamente são locais onde o cidadão comum que tenha desperdícios de madeira os pode levar de modo a que estes resíduos possam ser transformados em energia**.** A biomassa é formada por fontes orgânicas para produzir energia, que pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor. No caso do BedZEB a biomassa gerada irá ser convertida em eletricidade e calor. Outra fonte de energia usada foi a eólica. Esta fonte de energia renovável aproveita o vento exterior e ventila-o para o interior da casa, criando assim ventilação natural.

Outras soluções usadas foram o re-uso da água resultante da precipitação para rega e descarga do vaso sanitário, materiais recicláveis e até reciclagem do lixo domestico.

Figura 2 - Vista geral do condomínio BedZEB.

Dados resultantes do monitoramento deste empreendimento mostram que 81% da energia usada para aquecimento foi poupada, assim como 45% da eletricidade total também foi poupada (comparando com as casas situadas à volta deste condomínio).

Também foi poupada 58% de água (comparando com as casas à volta deste condomínio), resultando assim em 72 litros/pessoa/dia.

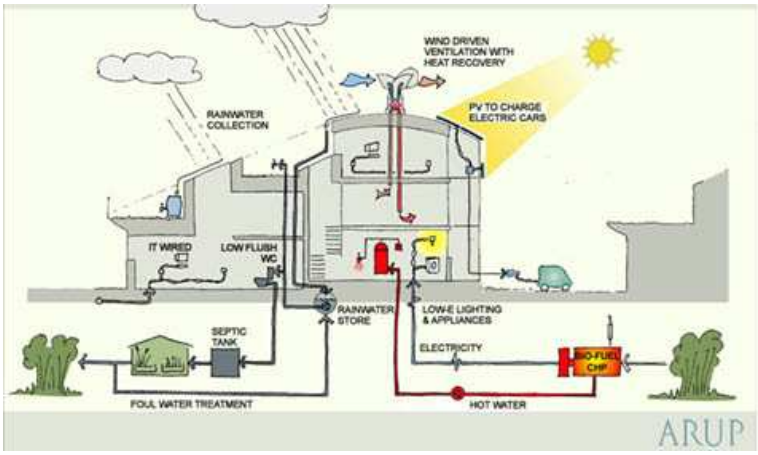

Figura 3 - Esquema das fontes de energia usadas no condomínio.

1.4.2. Área comercial

1.4.2.1. Edifício Solar XXI [8]

Figura 4 - Vista geral da fachada sul do edifício SOLAR XXI. [8]

Este edifício localizado em Lisboa, Portugal é fruto dos esforços do Departamento de Energias Renováveis do INETI, de projetar e construir de raiz um edifício que fosse uma referencia da eficiência energética e da utilização de energias renováveis. Este edifício que alberga salas, gabientes de trabalho e laboratórios apresenta soluções como as fachadas a Sul cobertas de painéis fotovoltaicos que em conjunto com os vãos envidraçados aproveitam o calor produzido pelos painéis no período de inverno para aquecer o ar ambiente dos gabinetes e espaços contíguos.

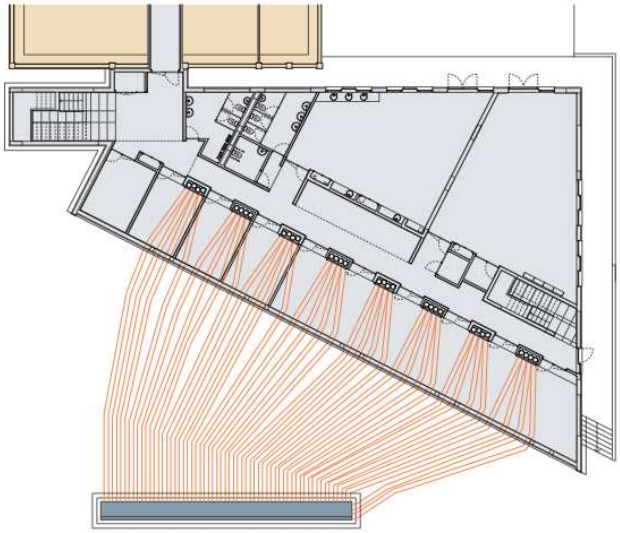
Figura 5 - Traçado da tubagem entre o poço de admissão e o interior do edifício. [8]

Outra solução que espelha bem a preocupação com a sustentabilidade deste edifício são um conjunto de tubos enterrados no solo, que injetam ar fresco para o interior do edifício aproveitando assim a o fato de o solo apresentar temperaturas no período de verão que variam entre os 16 e os 18ºC enquanto que a temperatura do ar pode subir até aos 35ºC. As entradas de ar em cada sala podem ser controladas individualmente por cada utilizador.

1.4.2.2. Beaufort, Kings Langlet, Reino Unido [1]

Este edifício que outrora albergou a Ovaltine Egg Farm em Kings Langley, 1930 foi totalmente reformado de modo a servir de sede de uma empresa que opera em energias renováveis. Este edifício já fora construído com principio de design bioclimático, como, por exemplo, a forma de ferradura a fim de tirar o máximo partido da luz solar.

Atualmente este edifício, a fim de se tornar exemplar da área de negócios em que a empresa atua, utiliza técnica sustentáveis de modo a obter Zero emissões poluentes. Utiliza técnicas como um poço profundo a 75m que com a ajuda de uma bomba impulsiona o ar frio para o edifício consoante as necessidades de arrefecimento ou a energia elétrica que é gerada pela turbina eólica e pelos painéis fotovoltaicos e que havendo excesso é vendida à rede nacional.

Para o aquecimento, a energia é produzida através de painéis solares térmicos, biomassa e gás natural e que havendo excesso de calor, este é armazenado numa cave em baterias.

Figura 6 - Vista aérea de Beaufort Court. [1]

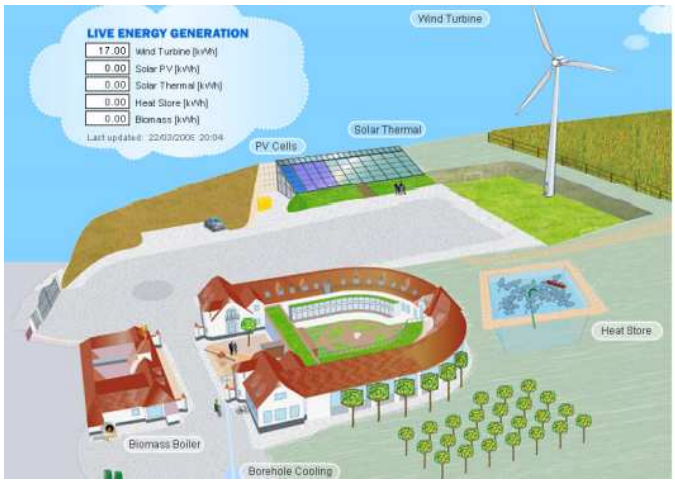

Figura 7 - Esquema das fontes de enrgia em Beaufort Court. [1]

1.5. Caraterização energética em Portugal

1.5.1. Visão Geral

Portugal é uma país com poucos recursos energéticos nomeadamente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas dos países desenvolvidos (como o petróleo, o gás e o carvão). Então, tem que importar bastantes quantidades (em 2008, 83,3% da energia consumida em Portugal era importada).

No gráfico seguinte mostra-se a evolução do consumo de energia primária em Portugal:

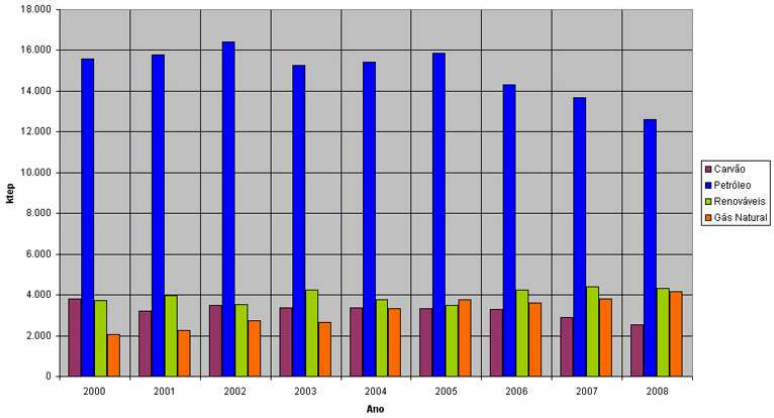

Figura 8 - Consumo de energia primária em Portugal. [5]

Como se constata, o petróleo é a fonte de energia mais consumida em Portugal, representando 51,6% do total de energia primária consumida em 2008. No entanto, o seu consumo está diminuindo.

Em seguida vem o gás natural que em 2008 representava 17,0% do total de energia primário consumida.

O consumo de carvão, representou, em 2009, 11,8% do total do consumo de energia primária. Prevê-se uma redução progressiva do peso do carvão na produção de electricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO2.

Em 2009, a contribuição das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 20% contra 17,7% em 2008. [5]

No gráfico seguinte observa-se a energia elétrica produzida a partir de fontes de energia renovável em 2009:

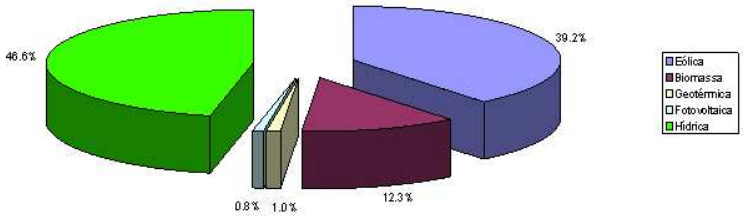

Figura 9 - Fontes de Energia Renovável em 2009 em Portugal. [5]

Verifica-se assim que cerca de 86% da energia produzida a partir de fontes de energia renovável em Portugal provém da energia hídrica e eólica.

Quanto aos setores que mais consomem energia, o setor dos transportes e o setor da indústria são os que lideram em Portugal. Em seguida é o setor domestico, como se pode constatar da figura seguinte:

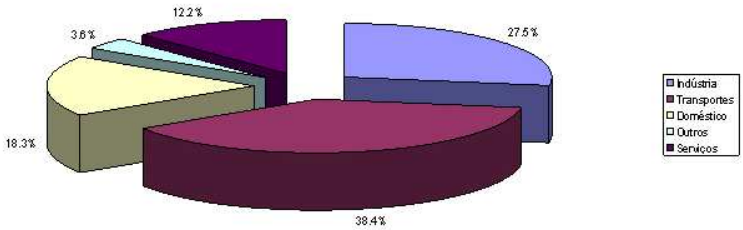

Figura 10 - Consumo de energia final por setor (dados de 2009). [5]

1.5.2. Setor Domestico

No setor domestico, assiste-se a um aumento do consumo de energia elétrica por unidade habitacional (2630 kWh/alojamento em 2009 contra 2510 kWh/alojamento em 2008). Em relação às formas de energia utilizadas, verifica-se uma diminuição nos consumos dos produtos de petróleo e um aumento do gás natural. [5]

Chegando ao setor residencial, que é o foco do presente trabalho, nota-se que ao longo dos anos as necessidades ligadas à higiene, à confeção e conservação de alimentos, o conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) e ainda o uso de equipamento eletrónicos de entretenimento (computadores, TV, Hi-Fi, etc) são facilidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos utilizadores nas habitações. Contudo este nível de conforto traduz-se num acréscimo do consumo de energia com impacto no aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global.

Em termos de usos finais, a distribuição do consumo energético no setor residencial é de aproximadamente 50 % para águas quentes sanitárias (AQS) e cozinhas, 25% para aquecimento e arrefecimento e 25% para iluminação e equipamentos eletrodomésticos.

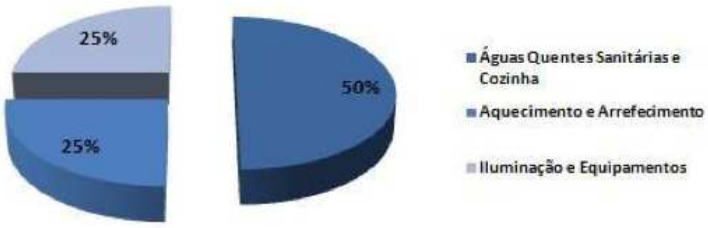

Figura 11 - Repartição do consumos no setor doméstico em Portugal.

Podem então ser retiradas algumas conclusões deste gráfico, de forma a melhorar a eficiência energética dos edifícios. Para as águas quentes sanitárias podem ser obtidas através da aplicação de painéis solares, pois atualmente é o gás natural e a eletricidade que dominam a preparação das AQS. A etiquetagem de eletrodomésticos, lâmpadas, etc informa os consumidores sobre quais os equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético e devem ser tidos em conta no ato da compra. Quanto aos consumos destinados ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), uma utilização racional da energia pode reduzir de forma significativa o consumo (nota-se que este tipo de consumo tem aumentado, pois é expectável que o nível de vida das famílias melhore ao longo dos anos).

É então imperativo que na fase de projeto de um edifício, as normas, regras e princípios sejam alvo de uma rigorosa aplicação assim como a escolha dos materiais e soluções construtivas devem ser levadas em conta para que no futuro se possa utilizar de forma mais comedida a energia (ex: ligar menos os equipamentos para propiciar conforto térmico ou mesmo não vir a ser necessário os ter).

Também são necessárias campanhas de consciencialização de modo a ensinar a população hábitos de eficiência e sustentabilidade. Desde o momento da compra dos eletrodomésticos, caldeiras, sistemas de ar condicionado, se deve levar em conta a informação existente na etiqueta referente ao consumo de energia e adquirir os produtos mais eficientes. Usar eficientemente os referidos equipamentos desligando-os sempre que possível e integrar energias alternativas que contribuam para a sustentabilidade da construção com a finalidade de promover um bom desempenho ambiental do edifício também são medidas inteligentes.

1.6. Objetivo

O objetivo do presente Trabalho de Conclusão de Curso é o de projetar uma casa que seja auto-suficiente em termos energéticos, ou seja que o balanço entre energia consumida e energia gerada seja o mesmo. No fundo pretende-se conceber uma casa que não emita quaisquer emissões de dióxido de carbono para o meio ambiente responsáveis por diversas alterações climáticas.

Será também avaliada a influência de diferentes soluções construtivas e de sistemas no desempenho energético do edifício bem como a importância e o impacto dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS) nas necessidades energéticas e classificação energética do edifício.

Assim, a metodologia a ser usada será, primeiro analisar os dados obtidos do aquando da aplicação do regulamento ao projeto e em seguida procurar possíveis alternativas que permitam, através de sucessivas melhorias ao nível da envolvente exterior, dos vaãos envidraçados, da ventilação e dos equipamentos de climatização e de preparação de águas quentes sanitárias (AQS), reduzir o consumo final de energia. Por fim o edifício bastantes otimizado do ponto de vista energético, será dimensionado um sistemas de coletores fotovoltaicos de modo a suprir a demanda de energia que o edifício ainda necessita.

2. Estratégias Bioclimáticas

A estratégia bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta toda a envolvência do clima e características ambientais do local em que se insere. Com isto se prentende otimizar o conforto ambiental no interior do edifício (a nível térmico, luminoso, acústico, etc) utilizando o design e os elementos arquitetônicos disponíveis.

2.1. Envolvente exterior

Os materiais que constituem a envolvente exterior de um edifício condicionam bastante o conforto no seu interior, sendo que as principais características a ter em conta, no que diz respeito aos ganhos e perdas térmicas, a inércia térmica e o poder isolante do material.
Um edifício mal isolado leva a que os custos com a climatização sejam maiores, pois, consome mais energia. No inverno arrefece rapidamente podendo ocorrer condensações no seu interior e no verão aquece em pouco tempo. Logo, é necessário diminuir as perdas e os ganhos de calor através de técnicas de isolamento adequadas nos edifícios tais como: partes estruturais posicionadas no interior da área isolada, evitar aparecimento de pontes térmicas, ou seja, áreas em que o calor é dissipado em maior quantidade do que no resto do edifício; correta instalação de janelas e portas, para que seja evitada entrada e saída de calor; elementos das sacadas e terraços

2.2. Vãos Envidraçados

As superfícies envidraçadas desempenham um papel muito importante na eficiência térmica do edifício. Por um lado contribuem para a entrada de calor, por outro, podem ser saídas através das quais o calor se dissipa, quando não construídas e montadas de uma forma apropriada Ao nível das janelas devem ser ao máximo reduzidas as infiltrações de ar não controladas, aumentar a captação de ganhos solares na estação de aquecimento (inverno), reforçar a proteção da radiação solar durante o verão (por exemplo com portadas) e melhor a ventilação natural.
O isolamento térmico de uma janela depende da qualidade do vidro e do tipo de caixilharia usado. Os vidros duplos com espaço de ar entre os dois são aqueles que têm maior capacidade de isolamento e que reduzem bastante as perdas de calor entro o interior e o exterior (inverno). Soluções como vedantes na juntas ou silicone nas fissuras ajudam a reduzir a penetração de ar.

2.3. Ventilação

As trocas de ar entre o interior e o exterior, que afeta todos os edifícios, dependem das diferenças de temperatura, isto no caso de ventilação natural. O outro caso é o da ventilação mecânica, em que um equipamento de forma regulada e controlada, força essa ventilação. Por fim, o vento influencia muito significativamente o desempenho energético dos edifícios, contribuindo também para a ventilação natural.
Deve-se então isolar e vedar ao máximo frinchas, portas e janelas de modo a reduzir ao máximo esses processos de ventilação e, evitando então mais arrefecimento interior no Inverno e maior aquecimento interior no Verão. O vento também tem que ser levado em conta, principalmente em climas onde este é marcante. A vegetação pode ser uma das soluções para proteger os edifícios, assim como a indução de correntes de circulação de ar para arrefecimento.

2.4. Cor dos revestimentos

As cores utilizadas nas fachadas e coberturas influenciam o conforto térmico.Uma cor branca será o ideal, uma vez que reflete 80% da radiação solar incidente numa spuerfície lisa, ao contrário de uma cor preta que numa mesma superfície absorve cerca de 90% da radiação. É então essencial utilizar uma cor clara para permitir uma grande reflexão por parte da radiação.

2.5. Equipamentos passíveis de serem utilizados no edifício

2.5.1. Energia solar

O sol é um recurso praticamente inesgotável que emite constantemente energia para a superfície terrestre, sob forma de radiac□ão, que pode ser absorvida ou refletida pelos elementos que a recebem.

No seu movimento de translação ao redor do Sol, a Terra recebe 1 410 W/m² de energia, medição feita numa superfície normal (em ângulo reto) com o Sol e pode ser dividida em três tipos de radiação:

- Radiação direta: atinge diretamente a superfície terrestre
- Radiação difusa: Desviada em diferentes direções pelos componentes da atmosfera
- Radiação refletida: Proveniente da reflexão no solo e objetos circundantes

Este potencial pode ser aproveitado das mais diversas formas, seja para gerar energia elétrica como energia térmica.

2.5.1.1. Energia Solar Fotovoltaica

Este tipo de energia é gerado através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico). Quando os fótons, provenientes dos raios solares, incidem nas células dos painéis fotovoltaicos e os átomos que as compõem, libertam eletrons devido à energia transportada pelos fótons, que formam uma corrente elétrica.

Figura 12 - Sistema fotovoltaico fixo. [17]

As vantagens mais evidentes desta tecnologia são a quase total ausência de poluição e manutenção bem como o tempo de vida elevado dos módulos. Por outro lado uma das suas principais limitações é o seu baixo rendimento, isto é, uma baixa conversão de energia solar em energia eletrica.

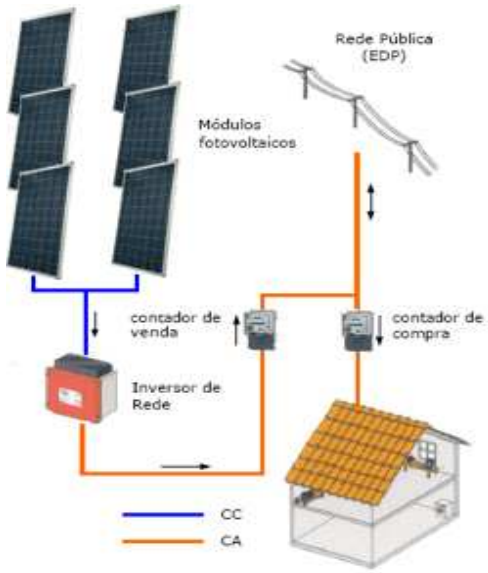

Figura 13 - Esquema do funcionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede. [20]

Neste trabalho foi apresentado apenas o sistema fotovoltaico ligado à rede de eletricidade, pois é a solução mais lógica em Portugal pois já existe uma legislação que incentiva este tipo de instalação.

Os sistemas fotovoltáicos autónomos têm como principal desvantagens o fato de as baterias que utilizam para armazenar o excesso de energia produzida, serem ainda muito caras e com um tempo de vida limitado.

Voltando então aos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, é de referir que existe já uma legislação em Portugal que incentiva este tipo de instalções. O Decreto-Lei nº363/2007 establece um tarifário de referencia, no regime bonificado, de 0,65€ por kWh, para os primeiros 10MW de potência registrada a nível nacional, válido para 5 anos, sendo para cada 10 MW adicionais sucessivamente reduzida de 5%.
Nos 10 anos seguintes (após os primeiros 5 anos) aplica-se à instalação de micriprodução, anualmente, a tarifa única correspondente à que seja aplicável, no dia 1 de Janeiro desse ano, às novas instalações que sejam equivalentes.

A aquisição de um sistema fotovoltaico para ligação à rede (EDP*) para a venda de eletricidade (microprodução) é hoje em dia uma opção em conta. Em alguns casos pode ser viável e interessante do ponto de vista económico tendo em vista os benefícios fiscais e a remuneração bonificada de energia vendida à rede. De acordo com a legislação em vigor, para se ser micro-produtor é necessário também possuir uma instalação solar térmica.

O mercado fotovoltaico está em crescente expansão e no passado ano (2010) chegou a atingir os 16 GW de capacidade a nível mundial, representando um crescimento de 100% face ao ano anterior.

Na Europa, a Alemanha continua a liderar o mercado como o pais com maior capacidade de geração, seguido logo pela Itália. Em terceiro lugar surgere a Republica Checa que, apesar de ter tido um crescimento grande em 2010, este não deverá continuar nos próximos anos.

Em seguida, apresentam-se os gráficos referentes à capacidade instalada na Europa em 2010 (em MW) e da capacidade existente na Europa até 2010 (em MW) respetivamente. [15]

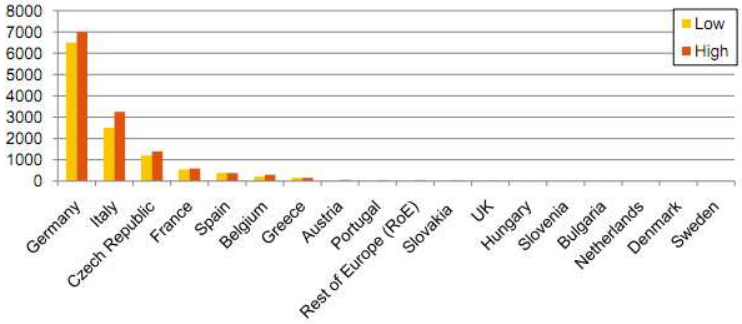

Figura 14 - Estimativa da capacidade instalada na Europa em 2010 de sistema solares fotovoltaicos (MW). [15]

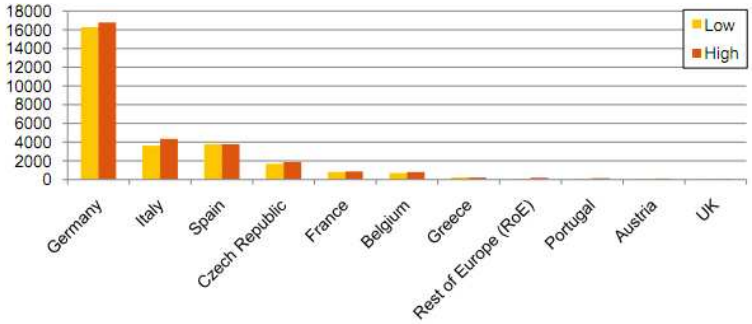

Figura 15 - Estimativa da capacidade acumulado na Europa em 2010 de sistemas solares fotovoltaicos (MW). [15]

Em Portugal, a utilização de sistemas solares fotovoltaicos está ainda longe de corresponder ao potencial deste recurso. Estima-se que hajam 130 MW de capacidade acumulada em 2010 (o objetivo para este ano era de 150 MW) representando apenas 0,1% do mercado da Europa. [11] Ainda há muito a fazer em Portugal de forma a aproveitar o maior número de horas de Sol em relação aos demais países europeus.

* EDP – Energias de Portugal, é a principal empresa do setor de energia a atuar em Portugal.

2.5.1.2. Energia Solar Térmica

Energia solar térmica ou energia térmica, é aquela que aproveita a energia do Sol para produzir calor, que pode ser usado para produzir água quente.
Um objeto exposto à radiação "Q" aquece, logo, há perdas por radiação, convecção e condução, que aumentarão com a temperatura do corpo. Chega a um momento em que as perdas térmicas, "Qp", se igualam aos ganhos devidos ao fluxo energético incidente, atingindo-se a temperatura de equilíbrio, "tc". Assim, no equilíbrio tem-se Q=Qp.
Extraindo continuamente uma parte do calor produzido mudaremos as condições do equilíbrio anterior, ficando Q=Qp+Qu, sendo que "Qu" é a energia extraída do corpo ou energia útil.

As principais aplicações deste tipo de energia são a produção das denominadas AQS (Água Quente Sanitária), para uso domestico, hospitais, hotéis, etc. É possível também usá-la para aquecimento de piscinas e aquecimento do ambiente interior [8]

Devido à sua privilegiada situação geográfica Portugal é um dos países da Europa com maior exposição solar; no entanto, países como a Alemanha, a Áustria ou o Reino Unido, apesar dos baixos níveis de exposição solar, apostam mais em instalação de sistemas solares térmicos que Portugal.

Portugal recebe entre 2200 e 3000 horas anuais de sol, portanto, a instalação de sistemas de aquecimento de aguas sanitárias apresenta um grande potencial.

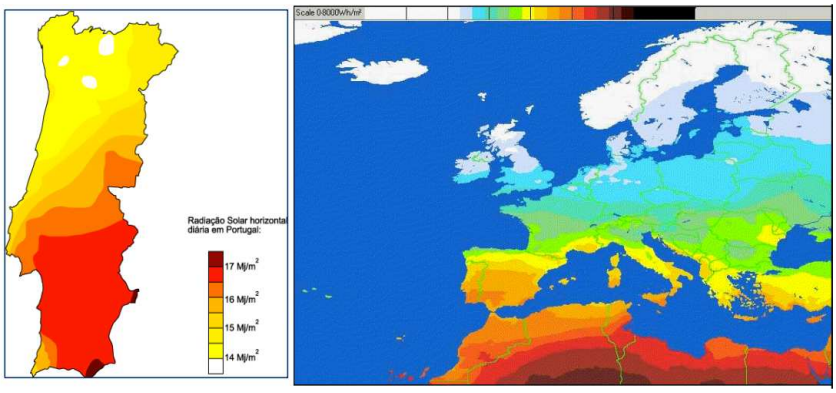

Figura 16 - Exposição solar na Europa e Portugal. [5]

A Europa domina a tecnologia de produção de energia solar e a tendência tem sido de crescimento, embora, no ano 2009, tenha havido um decréscimo de cerca de 10%. Isto deve-se à crise económica que teve inicio em 2008, bem como a recessão do mercado da construção civil. A crise também afetou negativamente os gastos públicos, bem como as politicas de incentivos a este tipo de tecnologias.

Figura 17 - Mercado do solar térmico na Europa dos 27 e Suiça: m2 instalados ao longo dos anos. [23]

Ao contrário da tendência europeia Portugal foi o país que mais cresceu em 2009 em termos de m^2 de energia solar térmica produzida, ficando um pouco abaixo dos 200.000m^2. Este crescimento deveeu-se a uma ambiciosa e agressiva política de incentivos fiscais por parte do governo lançada em março de 2009 que previa mecanismos de apoio de até 50% do total do investimento inicial, bem como reduções nos impostos. O programa, inicialmente previsto até metade de 2010, foi progorrado até final de novembro do mesmo ano contudo ainda não há numeros divulgados sobre o mercado neste ano.

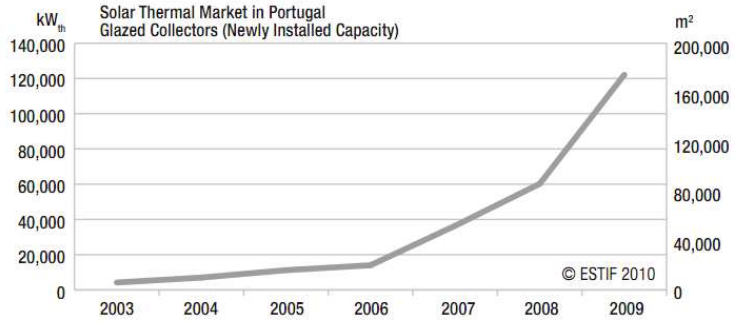

Figura 18 - Mercado da energia solar térmica em Portugal: m2 instaldos ao longo dos anos. [23]

O Regulamento das características de comportamento térmico de edificações (RCCTE), obriga que sejam instalados em todas as habitações novas e em grandes reformas, coletores para produção de agua quente sanitária, que representa uma grande fatia nos consumos energéticos habitacionais.

Coletor solar plano [8], [9]

Este tipo de coletor é o mais comum e destina-se à produção de águas quentes a temperaturas inferiores a 60ºC e utiliza no seu funcionamento dois fenómenos naturais: a cor negra absorve calor e a água quente sobe.

O coletor solar plano, é constituído por uma caixa isolada, coberta por uma placa de material transparente. No interior da caixa são colocados tubos por onde circula a água.

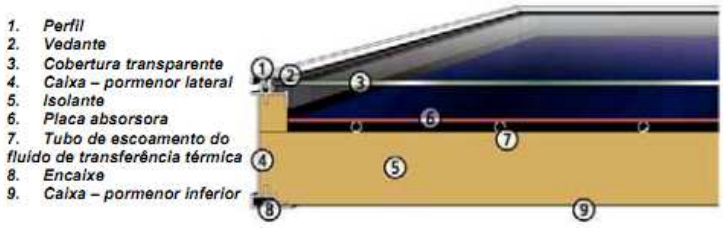

Figura 19 - Perfil de um coletor solar plano. [10]

A cobertura transparente provoca o efeito de estufa e reduz as perdas de calor, assegurando ainda a estanqueidade do coletor. A caixa isolada serve para evitar perdas de calor, uma vez que deverá ser isolada termicamente para dar rigidez e proteger o interior do coletor. A placa absorvedora serve para receber a energia e transformá-la em calor, transmitindo-a para o fluido térmico que circula por uma série de tubos em paralelo ou serpentina. Ao circular através dos tubos dos coletores, retira-se calor destes podendo aproveitá-lo para aquecer um depósito de água.

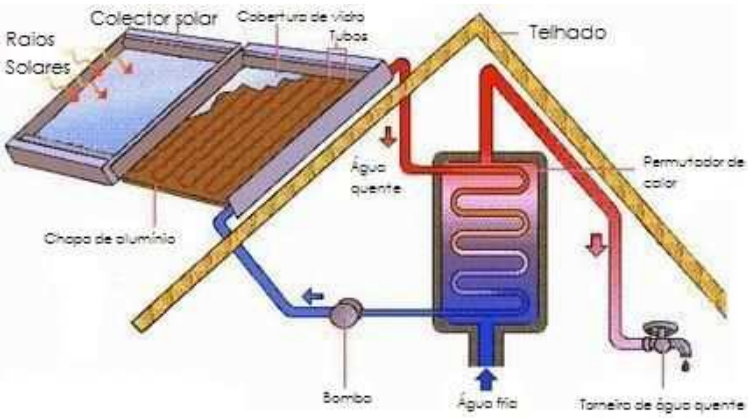

Figura 20 - Esquema ilustrativo do funcionamento de um coletor solar plano. [8]

As vantagens deste tipo de coletores são o seu custo (mais baratos que os coletores de vácuo e CPC - Coletor Parabólico Plano), múltiplas opções de montagem (sobre o telhado, integrado no telhado, montado na fachada e de instalação livre) e boa taxa de preço/performance e é de simples montagem.

Como desvantangens: são menos eficientes que os coletores de vácuo e CPC, não servem para gerar altas temperaturas, e exigem mais espaço no telhado do que os coletores de vácuo

Coletor parabólico Composto (CPC) [8], [9]

A diferença fundamental deste coletor é a geometria da superfície absorvedora. Nos CPC´s a área absorsora é constituída por duas alhetas unidas a um tubo e colocadas em cima de uma superfície reflectora. A captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas e as perdas térmicas são reduzidas.
O sol incide na parte superior das alhetas e na superfície parabolica refletora. Os raios são reflectidos e incidem na parte inferior das alhetas ou diretamente no tubo, contribuindo para aquecer ainda mais o fluido térmico. As perdas de calor são reduzidas porque a área de absorção é menor que num coletor plano, pois é constituída só pelas alhetas, implicando uma melhoria do rendimento térmico.

Por outro lado a inércia térmica do coletor é inferior e a temperatura nominal do funcionamento é atingida mais rapidamente. A zona situada entre a superfície refletora e a caixa é preenchida com isolamento para evitar as perdas de calor pela parte inferior.

Figura 21 - Coletor Parabólico Composto (CPC). [9]

As vantagens destes coletores são a elevada eficiência mesmo com grandes diferenças de temperaturas entre o absorsor e o meio envolvente (p.ex no verão), a elevada eficiência com baixa radiação (p.ex no inverno), suportam aplicações de calor com mais eficiência do que os coletores planos e funcionam com elevadas temperaturas (p.ex para condicionamento do ar).

Como desvantagem tem o fato de o seu custo ser mais caro que um coletor plano.

Tubos de Vácuo [8], [9]

Os tubos de vácuo basicamente consistem em tubos de vidro transparentes cujo interior contêm tubos metálicos (os absorvedores conseguem temperaturas de absorção de 120ºC ou mais). A atmosfera interior está no vácuo, o que elimina as perdas por convenção, elevando assim o rendimento em altas temperaturas devido a menores coeficientes de perda a eles associados.

Figura 22 - Sistema de coletores de vácuo. [9]

Figura 23 - Vista de perfil de um coletor de vácuo. [9]

As vantagens dos tubos de vácuo são diversas nomeadamente por possuírem boa eficiência, mesmo com elevadas diferenças de temperatura entre o absorsor e o meio envolvente, também boa eficiência a baixa radiação (inverno), atingem elevadas temperaturas possibilitando a utilização em sistemas de ar condicionado e produção de vapor e é facilmente transportável (apresenta baixo peso e pode ser montado no local de instalação).

As desvantagens destes sistemas são o preço em relação aos coletores planos e não poderem ser usados para instalações no caso dos sistemas de tubos de aquecimento (inclinação tem que ser no mínimo de 25º).

2.5.2. Outros aparelhos para Produção de Água Quente para uso domestico

2.5.2.1. Aquecedores a Gás

Os aquecedores a gás e as caldeiras são aparelhos que produzem instantaneamente a água quente. Existem dois tipos de aparelhos, os de potencia fixa e os de potência variável. Os aparelhos de potência fixa, como o próprio nome diz, têm a potência fixa para o mesmo fluxo de água; logo quando, por exemplo, uma pessoa está tomando ducha e uma torneira é aberta, a ducha ficará mais fria. No caso dos aparelhos de potência variável eles não têm o mesmo problema dos anteriores, porque os fluxos de gás e água estão relacionados entre si de forma a manter a temperatura tanto quando possível constante. Cada vez mais este tipo de aparelho (os de potência variável) estão substituindo os anteriores por oferecerem maior conforto aos usuários e, também maior economia.

Figura 24 - Aquecedor a gás.

2.5.2.2. Caldeiras

Uma caldeira é basicamente um recipiente fechado, no qual a água é aquecida. As caldeiras de aquecimento central também podem produzir águas quentes sanitárias. No caso das caldeiras murais, o funcionamento é muito semelhante ao de um aquecedor, se bem que a eficiência de águas quentes é um pouco inferior. A junção do fornecimento da água quente sanitária com o aquecimento do ar permite uma única instalação e conduta de evacuação de gases e vapores. Convém referir que, no caso dos aparelhos a gás, a opção pelo gás natural é a mais vantajosa, tanto do ponto de vista económico quanto ambiental.

2.5.2.3. Termoacumuladores elétricos

Os termoacumuladores elétricos são equipamentos formados por uma resistência elétrica que aquece a água, um reservatório isolado para a armazenar, um termóstato e um dispositivo que impede o sobreaquecimento. O aquecimento da água com termoacumuladores não é imediato, pois este se encontra dependente da potência da resistência elétrica e da capacidade do aparelho, logo é necessário aguardar algum tempo até que a água aqueça e possa ser utilizada.

Existem várias capacidades para os termoacumuladores sendo que deve ser escolhido em função da quantidade de água necessária. Se o termoacumulador for pequeno, a reserva de água será insuficiente, entretanto um termoacumulador sobredimensionado irá desperdiçar muita energia, pois manterá a uma temperatura elevada uma significativa quantidade de água que não é utilizada.

Os termoacumuladores elétricos são especialmente indicados para zonas onde a entrada de água não seja demasiado fria, onde a disponiblidade de energia seja uma condicionante ou onde os períodos de utilização sejam descontínuos, como por exemplo numa moradia de férias. O aparelho deverá ser instalado de preferência em um local quente e entre a cozinha e o banheiro, para minimizar o comprimento da canalização necessária e consequentemente diminuir as perdas de calor. Nunca deverá ser instalado numa cave não aquecida.

Figura 25 - Termoacumulador elétrico.

3. Caso de Estudo

3.1. Introdução

A presente memória descritiva refere-se ao projeto de estudo das características do comportamento térmico de uma edificação unifamiliar situado em Portugal.

Pretende-se que satisfaça as condições estabelecidadas no Regulamento das Caracterisiticas de Comportamento Térmico dos Edificões (RCCTE), D.L. nº80/2006, de modo a assegurar um nível de conforto térmico elevado.

O RCCTE entrou em vigor em 1991 sendo que Portugal foi um dos últimos países da Europa Comuntária a dispor de um regulamento sobre esta matéria. A versão inicial refletia a experiência adquirida em outros países atendendo à especificidade climática portuguesa. Este regulamento impõe requisitos nos projetos de novos edifícios e grandes reformas de maneira a salvaguardar as necessidades de conforto térmico, sem a utilização excessiva de energia, quer no Verão, quer no Inverno. Também pretende garantir a boa qualidade do ar interior, diminuindo a possibilidade de ocorrência de patologias derivadas das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente, bem como trazer benefícios ao consumidor no tocante à economia de energia que os edifícios construídos sobre esta norma permitem.

3.2. Conforto térmico

O organismo humano pode ser comparado a uma “maquina térmica”, a qual gera calor quando executa algum trabalho. O calor gerado pelo organismo é dissipado para o meio ambiente de forma que a temperatura interna do corpo e se mantenha praticamente constante (37ºC). Os desequilíbrios derivados da geração e dissipação de calor afetam o desempenho das pessoas, causam inquietação e perda de concentração. As variáveis que afetam o conforto térmico podem ser de ordem humana, como o metabolismo gerado pela atividade física ou a resistência térmica oferecida pela vestimenta, bem como as condições ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa do ar). [14]

3.3. Considerações Gerais

O edifício a construir trata-se de uma moradia unifamiliar com dependências agrícolas localizada no Monte do Córrego, Courela do Barranco, S.Domingos, concelho de Santiago do Cacem, Portugal.

O edifício possui uma área útil de 189,98 m^2 e um pé direito médio ponderado de 2,4 m^2.

O edifício apenas possui 1 dormitório mas, como mais à frente será dito, o número de pessoas a contabilizar para o aquecimento das águas sanitárias será de 4 pessoas (como se tivesse 2 dormitórios) pois se considera o arrumo existente no piso 1 como se de um quarto se tratasse.

Uma breve consulta ao RCCTE e constata-se que Santiago do Cacém se encontra na zona climática I1 e V2 (Quadro III.I, RCCTE).

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Santarém	I_1	1 440	5,7	V_1	34	14
Santiago do Cacém	I_1	1 320	5,7	V_2	32	14
Santo Tirso	I_2	1 830	7	V_2	32	13
São Brás de Alportel	I_1	1 460	5,3	V_2	33	13
São João da Madeira	I_2	1 670	6,7	V_1	30	11

Figura 26 - Localização de Santiago do Cacém no zonamento climático português. [7]

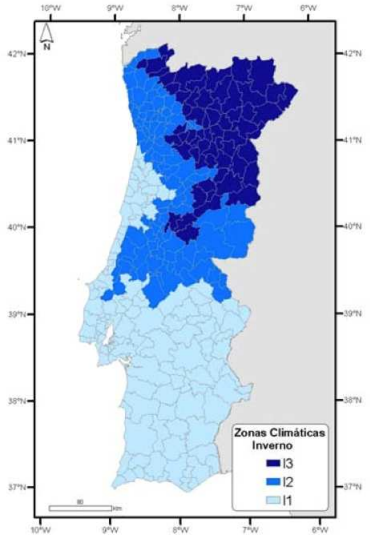

Figura 27 - Zonas Climáticas de Inverno. [3]

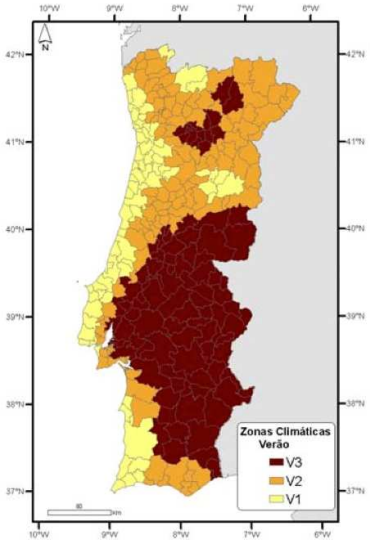

Figura 28 - Zonas Climáticas de Verão. [3]

3.3.1. Orientação geográfica

É importante saber a orientação das fachadas do edifício, pois assim será melhor aproveitada radiação solar (na estação de aquecimento, inverno) e também para evitar a sua entrada na estação de arrefecimento (verão).

Torna-se então importante saber o percurso que o sol faz ao longo do dia, nas diferentes estações do ano.

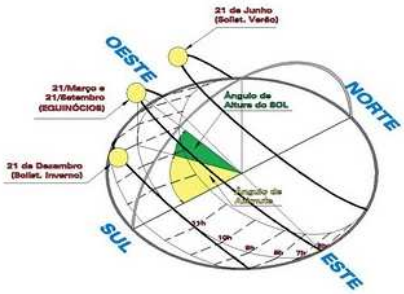

Figura 29 - Percurso do sol em Portugal, ao longo do ano. [14]

No solstício de Inverno (a 21 de Dezembro) o Sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se sensivelmente próximo da orientação Sudoeste, variando o ângulo de azimute do nascer e pôr-do-sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano.

No dia 21 de Junho ocorre o solstício de verão onde o Sol nasce sensivelmente próximo da orientação Nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação Noroeste, variando o ângulo de azimute do nascer e pôr-do-sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais elevados do ano.

Nos equinócios (dias 21 de Março e 21 de Setembro) o sol nasce precisamente na orientação Este e põe-se exatamente na orientação Oeste.

É precisamente com base nestes valores que se torna importante definir com precisão as orientações das fachadas, bem como a dimensão e o tipo de envidraçados.

Quanto à orientação das fachadas, verifica-se que uma fachada orientada a Sul, receberá um maior nível de radiação solar do que fachadas em outras orientações.

Sendo assim no inverno (estação de aquecimento) é necessário captar o máximo de radiação solar disponível (nesta época do ano a orientação Sul é muito vantajosa uma vez que o percurso se efetua para azimutes muito próximos do Sul geográfico). No Verão torna-se necessário minimizar os ganhos de radiação solar, no entanto é na cobertura que a radiação solar é mais intensa.

Assim, para o edifício em estudo, foi definida a seguinte orientação geográfica:

- A cozinha está localizada a Noroeste.
- O quarto e a sala estão localizados a Sudeste.

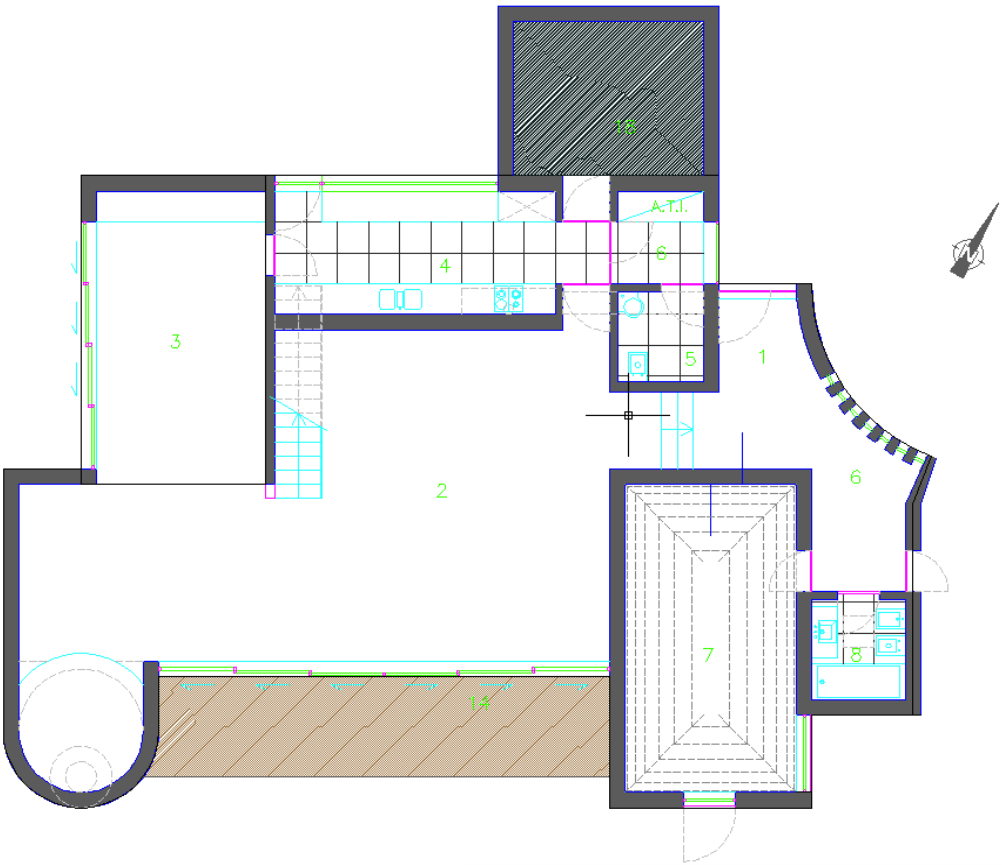

Figura 30 - Planta do piso térreo.

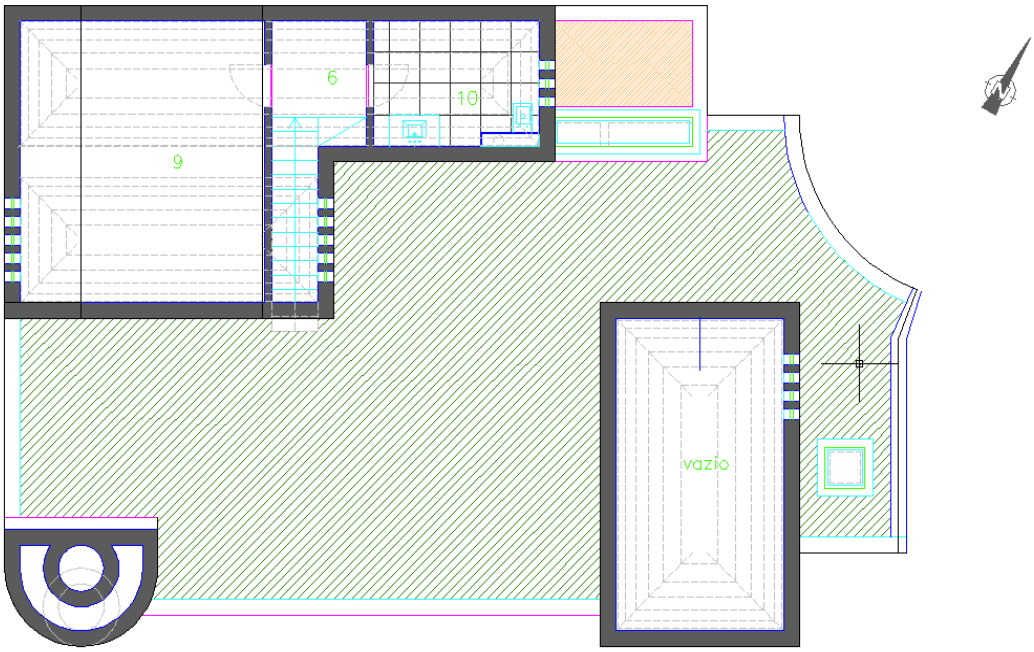

Figura 31 - Planta do piso 1.

Em que:

1. – Entrada.
2. – Sala 1.
3. – Sala 2.
4. – Cozinha.
5. – Banheiro.
6. – Área de circulação.
7. – Dormitório.
8. - Banheiro.
9. – Arrumos.
10. – Banheiro de serviço.

3.4. Aspetos construtivos, coeficiente de transmissão térmica U e inércia térmica I_t

De acordo com as diferentes constituições dos elementos construtivos optou-se por fazer o cálculo manual dos coeficientes U, com a seguinte metodologia,

$$(1)\ R = \frac{d}{\lambda}$$

Em que:
R – Resistência térmica do elemento [$m^2.^oC/W$]
d – Espessura do elemento [m]
λ - Condutivida térmica do elemento [$W/m.^oC$]

e

$$(2)\ U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{sc}}$$

Em que:
U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2.^oC$]
R_i – Resistência térmica do elemento i [$m^2.^oC/W$]
R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$m^2.^oC/W$]
R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$m^2.^oC/W$]

A inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade calorífica que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento é calculada pela expressão:

$$(3)\ I_t = \frac{\sum M_{si} * S_i * r_i}{A_p} \ (\text{kg/m}^2 \text{ pavimento})$$

Em que:
M_{si} – Massa superficial útil do elemento i (kg/m^2)
S_i – Área da superfície interior do elemento i (m^2)
R_i – Fator de redução que toma em conta a influencia dos revestimentos superficiais interiores com propriedades de "isolamento térmico"
A_p – Área útil de pavimento da respectiva fração (m^2)

Existem três classes de inércia térmica definidas no RCCTE e estas alem de dependerem da área do elemento dependem ainda de aspectos como a localização do edifício, da sua própria massa superficial e da sua constituição, bem como das carateristicas térmicas do revestimento superficial interior.

3.5. Paredes

3.5.1. Paredes Exteriores em contato com o ar

As paredes exteriores em contato com o ar são paredes duplas ou seja, constituídas por dois panos de alvenaria (neste caso um de 11cm e outro de 15cm) com uma placa de walmate no meio.

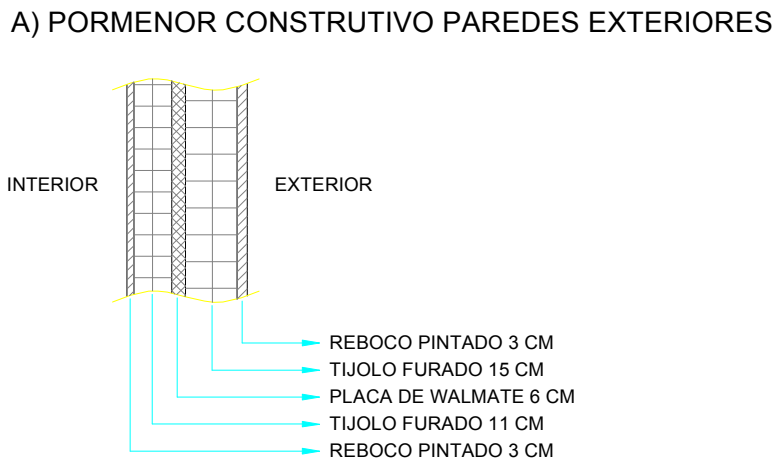

Figura 32 - Pormenor construtivo das paredes exteriores.

Calculo de U da parede exterior 1(A)						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,0400	ITE 50-Pag.I.11	-	-
Reboco Ext.	2.000,0	1,3000	0,0300	0,0231	ITE 50-Pag.I.17	60,00	0,00
Tijolo furado normal	1.400,0		0,1500	0,3900	ITE 50-Pag.I.12	210,00	0,00
Isolamento Walmate		0,0350	0,0600	1,7143	Cat.Fabricante		isolante térmico
Tijolo furado normal	1.400,0		0,1100	0,2700	ITE 50-Pag.I.12	154,00	154,00
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0300	0,0231	ITE 50-Pag.I.7	60,00	38,00
Rsint.				0,1300	ITE 50-Pag.I.11	-	-
U(W/(m2.ºc)=				**0,3860**		**Msi(kg/m2)=**	**150,00**

Tabela 1 - Cálculo de U da parede exterior 1(A).

As resistências térmicas do tijolo e do reboco obtêm-se diretamente do ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente do Edifício [18], pois se trata de um elemento homogéneo. As resistências térmicas superficiais exteriores e interiores para um elemento de construção vertical também foram retiradas do ITE 50 enquanto que a resistência do isolamente walmate foi retirada diretamente do catologo do fabricante. [18]

3.5.2. Paredes exteriores em contato com o solo

Este tipo de parede tem uma caixa de ar a separar um pano de concreto armado com um pano de alvenaria. É uma tela betuminosa na parte exterior (que neste caso é o solo do lado do arrumo 18 virado para NW). Na parte interior há um reboco pintado com 2 cm.

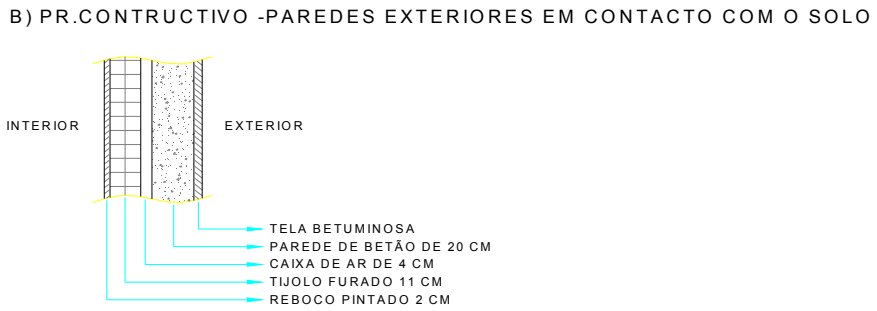

Figura 33 - Pormenor construtivo das paredes exteriores em contato com o solo.

Calculo de U da parede exterior em contacto com solo 1(B)						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ(W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,1300	ITE 50-Pag.I.11	-	-
Tela betuminosa	1.000,0	0,2300	0,0050	0,0217	ITE 50-Pag.I.7	5,00	5,00
Parede de Betão vigada	2.300,0	2,0000	0,2000	0,1000	ITE 50-Pag.I.4	460,00	460,00
Caixa de ar			0,0400	0,1800	ITE 50-Pag.I.11		0,00
Tijolo furado	1.400,0		0,1100	0,2700	ITE 50-Pag.I.5	154,00	154,00
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0200	0,0154	ITE 50-Pag.I.7	40,00	40,00
Rsint.				0,1300	ITE 50-Pag.I.11	-	-
U(W/(m2.ºc)=				**1,1805**		**Msi(kg/m2)=**	**150,00**

Tabela 2 - Cálculo de U da parede exterior em contato com o solo 1(B).

Mais uma vez as resistências térmicas superficiais foram retiradas do ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente do Edifício. [18]

3.5.3. Paredes em contato com espaço não útil.

Este tipo de paredes dupla é semelhante à parede exterior em contato com o ar, mas tem a particularidade de possuir um revestimento cerâmico na parte exterior. No projeto, há dois tipos de paredes em contato com espaço não útil: uma em que o pano de alvenaria que está do lado interior possui 11 cm e outra que possui 15 cm. Ambas serão rebocadas interiormente (espessura de 3 cm).

PAREDE EM CONTACTO COM O ARRUMO 17 E DEPENDÊNCIA AGRÍCOLA

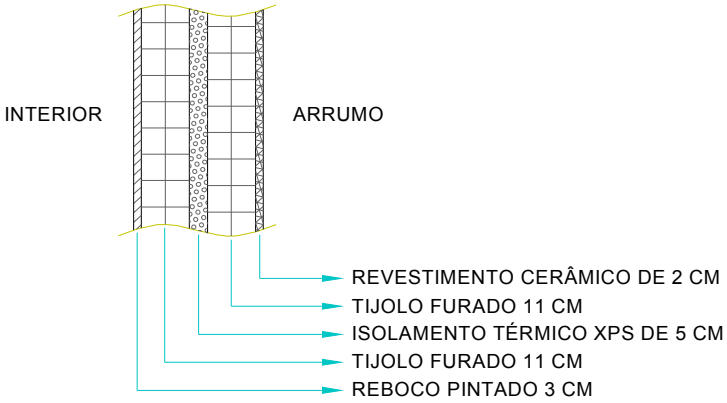

Figura 34 - Pormenor construtivo da paredes em contato com o arrumo 17 e dependência agrícola.

Calculo U paredes contacto com espaços não úteis - Arrumo 17 e Dep. Agrícolas 1(D)						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ(W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,1300	ITE 50-Pag.I.08	-	-
Revest.Cerámico	2.000,0	1,3000	0,0200	0,0154	ITE 50-Pag.I.17	40,00	0,00
Tijolo furado normal	1.400,0		0,1100	0,2700	ITE 50-Pag.I.12	154,00	0,00
Isolamento Walmate		0,0350	0,0500	1,4286	Cat.Fabricante		isolante térmico
Tijolo furado normal	1.400,0		0,1100	0,2700	ITE 50-Pag.I.12	154,00	154,00
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0300	0,0231	ITE 50-Pag.I.7	60,00	38,00
Rsint.				0,1300	ITE 50-Pag.I.11	-	-
U(W/(m2.ºc)=				**0,4411**		**Msi(kg/m2)=**	**150,00**

Tabela 3 - Cáculo de U das paredes em cotato com espaços agrícolas não úteis - arrumo 17 e Dep.Agrícolas 1(D).

E a outra solução:

PR.CONST. PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO ÚTEIS-Circ.nº12

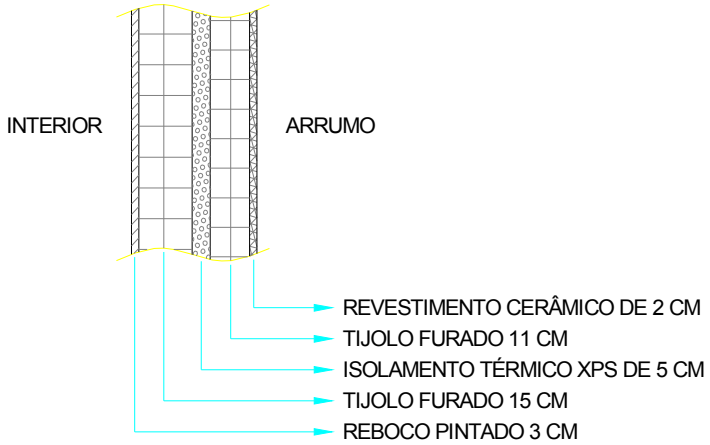

Figura 35 - Pormenor construtivo das paredes em contato com espaços não-úteis (circ.nº12).

Calculo de U das paredes em contacto com espaços não uteis - Circulação nº12, 1(E), Chaminé (τ=1)						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,1300	ITE 50-Pag.I.08	-	-
Revest.Cerámico	2.000,0	1,3000	0,0200	0,0154	ITE 50-Pag.I.7	40,00	0,00
Tijolo furado normal	1.400,0		0,1100	0,2700	ITE 50-Pag.I.12	154,00	0,00
Isolamento Walmate		0,0350	0,0500	1,4286	Cat. Fabricante		isolante térmico
Tijolo furado normal	1.400,0		0,1500	0,3900	ITE 50-Pag.I.12	210,00	210,00
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0300	0,0231	ITE 50-Pag.I.7	60,00	38,00
Rsint.				0,1300	ITE 50-Pag.I.11	-	-
		U(W/(m2.ºc)=		**0,4189**		**Msi(kg/m2)=**	**150,00**

Tabela 4 - Cálculo das paredes em contato com espaços não úteis - Circulação nº12, 1(E), Chaminé.

3.5.4. Paredes interiores

As paredes interiores serão simples, constituídas por tijolo furado de 15 cm de espessura rebocado interiormente de ambas as faces com uma camada de reboco de 2 cm de espessura.

Calculo de U da parede interior						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsint.				0,13	ITE 50-Pag.I.11	-	-
Reboco Ext.	2.000,0	1,30	0,02	0,02	ITE 50-Pag.I.17	40,00	40,00
Tijolo furado normal	1.400,0		0,15	0,39	ITE 50-Pag.I.12	210,00	210,00
Reboco Int.	2.000,0	1,30	0,02	0,02	ITE 50-Pag.I.17	40,00	40,00
Rsint.				0,13	ITE 50-Pag.I.11	-	-
		U(W/(m2.ºc)=		**1,47**		**Msi(kg/m2)=**	**290,00**

Tabela 5 - Cálculo de U da parede interior.

3.5.5. Paredes exteriores na zona do pilar e viga

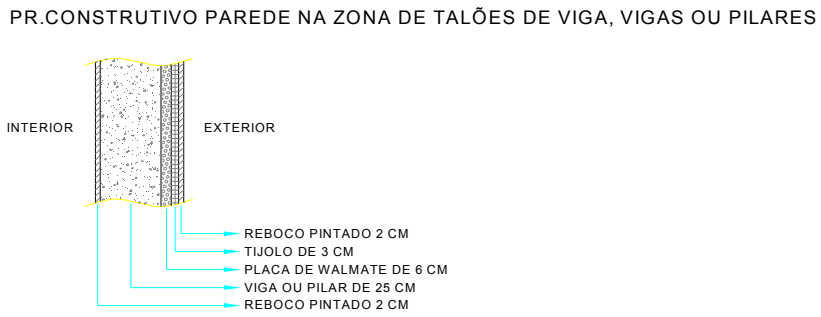

Figura 36 - Pormenor construtivo da parede na zona de talões de viga, vigas ou pilares.

Calculo de U da parede exterior (Zona de Pilar e Viga) - PTP 1(C)						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,0400	ITE 50-Pag.I.11	-	-
Reboco Ext.	2.000,0	1,3000	0,0200	0,0154	ITE 50-Pag.I.7	10,00	0,00
Tijolo	1.400,0		0,0300	0,0700	ITE 50-Pag.I.12	280,00	0,00
Wallmate		0,0370	0,0600	1,6216	Cat.Fabricante		Isolante Termico
Pilar de Betão	2.300,0	2,0000	0,2500	0,1250	ITE 50-Pag.I.5	575,00	575,00
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0200	0,0154	ITE 50-Pag.I.7	40,00	38,00
Rsint.				0,1300	ITE 50-Pag.I.11	-	-
U(W/(m2.ºc)=				**0,4957**		**Msi(kg/m2)=**	**150,00**

Tabela 6 - Cálculo de U da parede exterior (zona da pilar e viga) - PTP 1(C).

3.6. Coberturas

3.6.1. Cobertura exterior ajardinada

A cobertura verde é uma opção interessante, se bem executada, uma vez que contribui para o conforto no interior da habitação. No entanto, é necessário ter especial atenção à impermeabilização já que a presença de água é constante devido à presença de terra e plantas.

A opção por este tipo de cobertura traz benefícios para o meio ambiente tais como:

- Aspeto visualmente agradável.
- Melhoria na qualidade do ar.
- Redução nas emissões de gases que provocam o efeito de estufa.
- Boa gestão da pluviosidade (as correntes de água são significativamente reduzidas com estas coberturas).
- Proteção natural ao sistema de impermeabilização, potenciando uma maior vida útil a este sistema e ao desempenho da cobertura.

A cobertura, neste caso, é do tipo cobertura ajardinada transitável pois possui uma membrana impermeabilizante, isolamento térmico e acabamento com substrato vegetal.

Sendo assim no projeto temos uma cobertura com as seguintes carateristicas:

PR.CONSTRUTIVO COBERTURAS AJARDINADAS

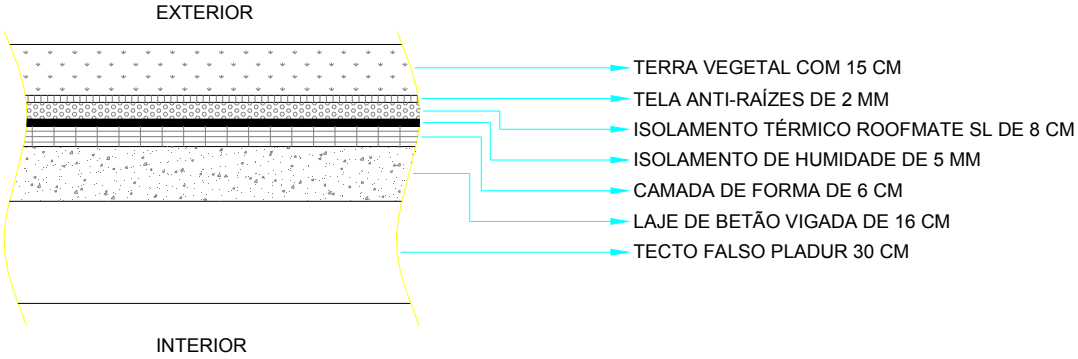

Figura 37 - Pormenor construtivo da cobertura ajardinada.

Calculo de U da cobertura ajardinada 2(A)						**Calculo da Msi**	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**Mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,0400	ITE 50-Pag.I.11		-
Terra Vegetal	1.800,0	1,1000	0,1500	0,1364	ITE 50-Pag.I.9	270,00	
Tela antiraizes em Polietileno	920,0	0,3300	0,0020	0,0061	ITE 50-Pag.I.9	1,84	
Isolamento Térmico - Roofmate SL		0,0350	0,0800	2,2857	Cat.Fabricante		Isolante térmico
Isolamento Anti-Humidade - Membrana flexivel impregnada de betume	1.000,0	0,2300	0,0050	0,0217	ITE 50-Pag.I.9	5,00	5,00
Camada de Forma	2.000,0	1,3000	0,0600	0,0462	ITE 50-Pag.I.7	120,00	120,00
Laje de Betão Vigada	2.300,0	2,3000	0,1600	0,0696	ITE 50-Pag.I.6	368,00	368,00
Caixa de Ar - Fluxo Ascendente			0,3000	0,1600	ITE 50-Pag.I.11		
Placa de Gesso Cartonada	800,0	0,2500	0,0200	0,0800	ITE 50-Pag.I.7	16,00	16,00
Rsint.				0,1000	ITE 50-Pag.I.11	-	-
U(W/(m2.ºc)=				**0,3395**		**Msi(kg/m2)**	150,00

Tabela 7 - Cálculo de U da cobertura ajardinada 2(A).

3.6.2. Cobertura não ajardinada

A cobertura não ajardinada que cobre o piso 1 por cima da laje de 16 cm é composta por uma camada de forma, um isolamento térmico, uma camada impermeabilizante e uma camada de seixo rolado, como se pode ver no esquema seguinte:

PR.CONSTRUTIVO COBERTURAS NÃO AJARDINADAS

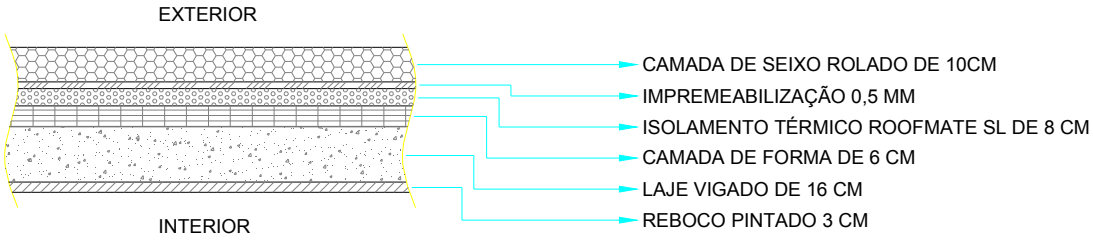

Figura 38 - Pormenor construtivo da cobertura não ajardinada

Calculo de U da cobertura não ajardinada 2(B)						**Calculo da Msi**	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**Mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,0400	ITE 50-Pag.I.11		
Camada de seixo rolado	2.000,0	2,0000	0,1000	0,0500	ITE 50-Pag.I.9	200,00	
Isolamento Anti-Humidade - Membrana flexivel impregnada de betume	1.000,0	0,2300	0,0050	0,0217	ITE 50-Pag.I.9	5,00	
Isolamento Térmico - Roofmate SL		0,0350	0,0800	2,2857	Cat.Fabricante		
Camada de Forma	2.000,0	1,3000	0,0600	0,0462	ITE 50-Pag.I.7	120,00	120,00
Laje de Betão Vigada	2.300,0	2,3000	0,1600	0,0696	ITE 50-Pag.I.6	368,00	368,00
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0300	0,0231	ITE 50-Pag.I.17	60,00	60,00
Rsint.-Fluxo Ascendente				0,1000	ITE 50-Pag.I.11		
U(W/(m2.ºc)=				**0,3793**		**Msi(kg/m2)**	150,00

Tabela 8 - Cálculo de U da cobertura não ajardinada 2(B).

3.7. Pavimentos

3.7.1. Pavimentos em contato com o exterior.

Este tipo de pavimento encontra-se em parte do pavimento do arrumo nº9 no piso 1.

PR. CONSTRUTIVO PAVIMENTOS SOBRE O EXTERIOR

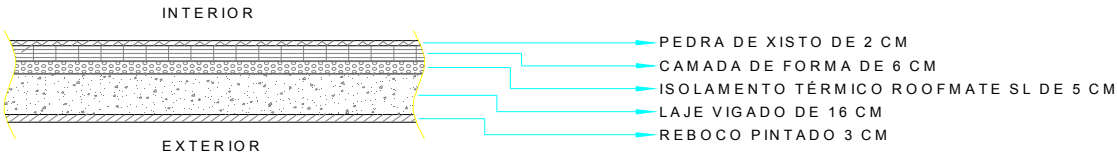

Figura 39 - Pormenor construtivo do pavimento sobre o exterior.

Calculo de U do pavimento sobre o exterior 2 (C)						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**Mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rsext.				0,0400	ITE 50-Pag.I.11		
Reboco Int.	2.000,0	1,3000	0,0300	0,0231	ITE 50-Pag.I.17	60,00	
Laje de Betão Vigada	2.300,0	2,3000	0,1600	0,0696	ITE 50-Pag.I.6	368,00	
Isolamento Térmico -Roofmate SL		0,0350	0,0500	1,4286	Cat.Fabricante		
Camada de Forma	2.000,0	1,3000	0,0600	0,0462	ITE 50-Pag.I.7	120,00	120,00
Pedra de xisto	2.200,0	2,2000	0,0200	0,0091	ITE 50-Pag.I.9	44,00	44,00
Rsint.-Fluxo Descendente				0,1700	ITE 50-Pag.I.11		
			U(W/(m2.ºc)=	**0,5598**		**Msi(kg/m2)**	150,00

Tabela 9 - Cálculo de U do pavimento sobre o exterior 2(B).

3.7.2. Pavimentos interiores em contato com o solo

Os pavimentos interiores em contato com o solo serão constituídos, por um revestimento de pedra de xisto, sobre uma camada de forma de 6 cm, assente esta sobre uma laje de concreto normal de 16 cm. Para diminuir as perdas térmicas lineares dos pavimentos em contato com o Sol, o pavimento em analise será revestido na periferia, cerca de 1,10m, da sua ligação ao exterior por um revestimento cuja resistência térmica será superior a 0,5 m^2.ºC/W.

Cálculo de U do pavimento interior em contacto com o solo						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**Mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rext.				0,1000	ITE 50-Pag.I.11		
Betão Normal	2.300,0	1,6500	0,1600	0,0970	ITE 50-Pag.I.6	368,00	368,00
Camada de Forma	2.000,0	1,3000	0,0600	0,0462	ITE 50-Pag.I.7	120,00	120,00
Pedra de xisto	2.200,0	2,2000	0,0200	0,0091	ITE 50-Pag.I.9	44,00	44,00
Rsint.				0,1000	ITE 50-Pag.I.11		
			U(W/(m2.ºc)=	**2,8392**		**Msi(kg/m2)**	**300,00**

Tabela 10 - Cálculo de U do pavimento interior em contato com o solo.

3.7.3. Pavimentos interiores

Os pavimentos interiores em contato com o solo serão constituídos, por um revestimento de pedra de xisto, sobre uma camada de forma de 6 cm, assente sobre um laje de concreto vigada de 16 cm.

Cálculo de U do pavimento interior em contacto com o solo						Calculo da Msi	
Elemento	**ρ (kg/m3)**	**λ (W/(m.ºc)**	**esp.(m)**	**R (m2.ºc/W)**		**Mt(kg/m2)**	**mi(kg/m2)**
Rext.				0,1000	ITE 50-Pag.I.11		
Betão Normal	2.300,0	1,6500	0,1600	0,0970	ITE 50-Pag.I.6	368,00	368,00
Camada de Forma	2.000,0	1,3000	0,0600	0,0462	ITE 50-Pag.I.7	120,00	120,00
Pedra de xisto	2.200,0	2,2000	0,0200	0,0091	ITE 50-Pag.I.9	44,00	44,00
Rsint.				0,1000	ITE 50-Pag.I.11		
U(W/(m2.ºc)=				**2,8392**		**Msi(kg/m2)**	**300,00**

Tabela 11 - Cálculo de U do pavimento interior em contato com o solo.

3.8. Envidraçados

Todas as superfícies envidraçadas serão inseridas num sistema prefabricado construído em alumínio anodizado com boa estanquidade e com permeabilidade baixa do ar e com corte térmico.

O vidro duplo SGG Climaplus Bioclean da Saint Gobain, constituinte dos envidraçados possui a seguinte composição: SGG Bioclean 4 mm + Árgon 16 m + SGG Planitherm Futurn de 4 mm. Todos os envidraçados serão protegidos pelo exterior por portadas de madeira. [21]

De acordo com o referido atrás e de consultando o ITE 50 (pag III.5, quadro III.2) o coeficiente de transmissão térmica dos vãos será de 2,5 W/(m^2 ºK). [18]

De acordo com a informação do fabricante o vidro duplo em analise possuirá um fator solar de 0,74.

A fração envidraçada (Fg) será igual a 0,7, em virtude dos vãos envidraçados serem constituídos por janelas/portas de alumínio com caixilho sem quadricula.

3.9. Planta do edifício

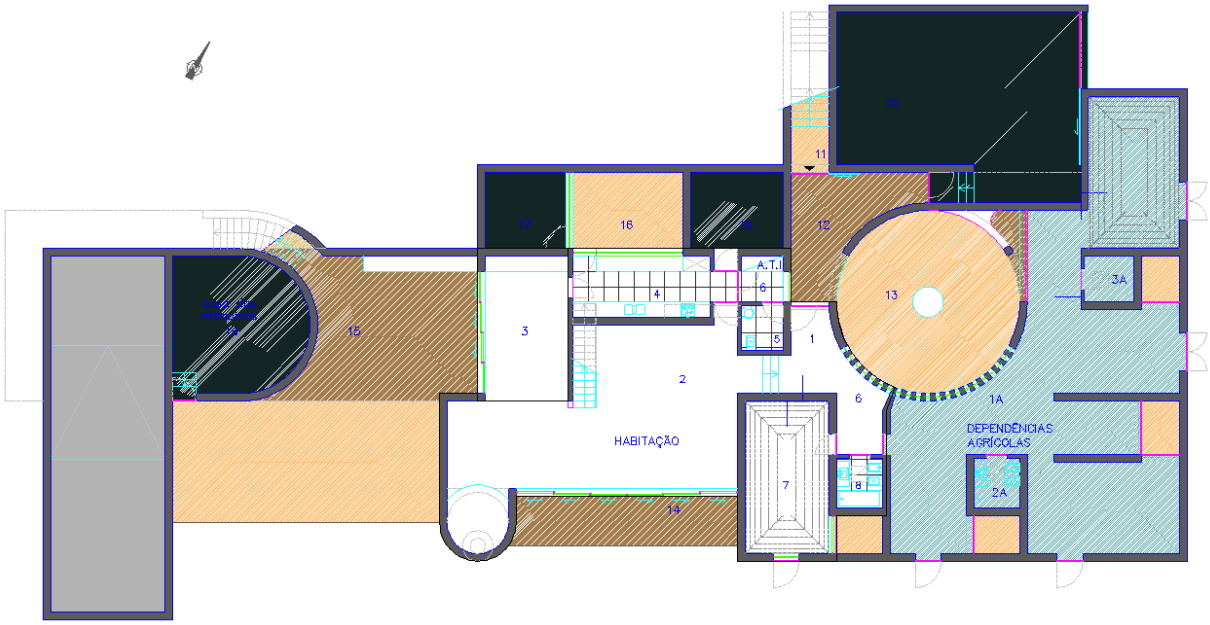

Figura 40 - Planta da habitação, dependências agrícolas e áreas exteriores (piso 0).

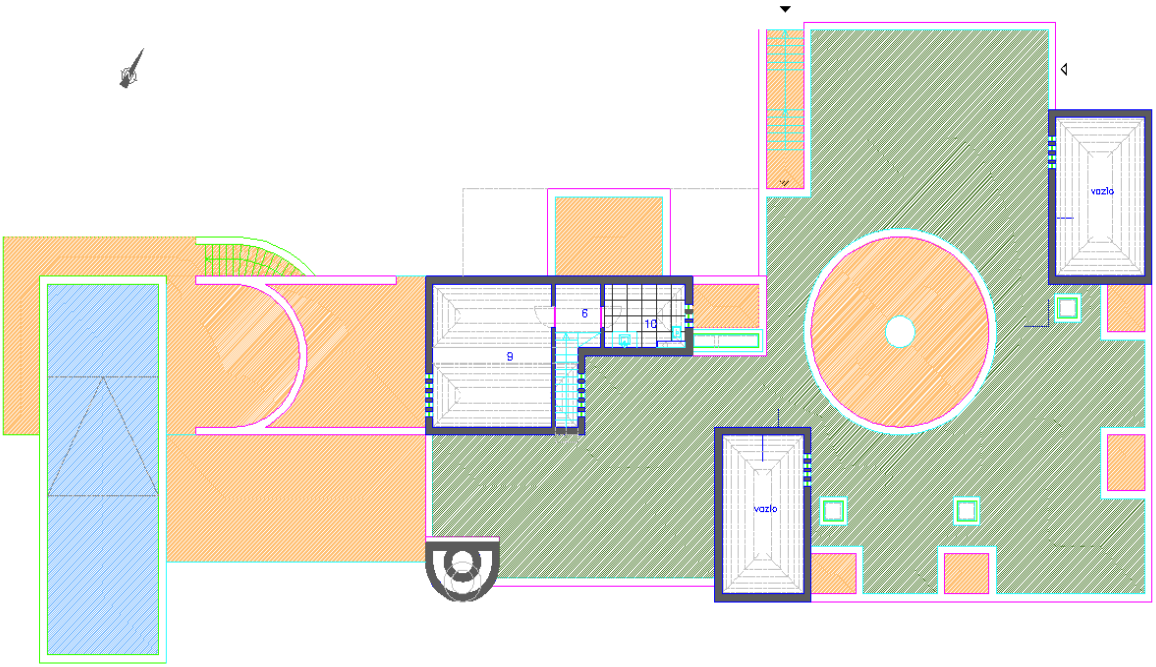

Figura 41 - Planta do piso1 onde é possível observar a cobertura ajardinada.

O edifício é constituído por 10 ambientes com 168,20 m^2 de área de habitação. As áreas de cada divisão são apresentadas na tabela seguinte:

Áreas de cada divisão	
Designação	**Área (m2)**
1 - Entrada	3,1
2 - Sala 1	64,15
3 – Sala 2	18,5
4 - Cozinha	13
5 - Lavabo	2,9
6 - Circulação	18,4
7 - Quarto	19,8
8 - Instalações Sanitárias	3,5
9 - Arrumos	26,7
10 - Instalações Sanitárias de Serviço	7,8

Tabela 12 - Áreas de cada divisão da habitação.

O edifício possui ainda uma dependência agrícola anexa à área de habitação, um acesso principal à casa que leva ao alpendre da entrada e ao pátio, uma garagem, dois alpendres da sala (um deles serve de cobertura), um pátio da cozinha, uma casa das máquinas e duas arrecadações interiores. Possui também uma piscina mas que não vai ter qualquer cálculo de área ou influência em futuros cálculos. Em seguida estão as áreas das divisões atrás referidas:

Áreas de cada divisão	
Designação - Áreas Exteriores	**Área (m2)**
11 - Acesso principal	9,45
12 - Alpendre da entrada	15,6
13 - Pátio principal	40,7
14 - Alpendre da sala	17,05
15 - Alpendre da sala/copa	38,55
16 - Pátio Cozinha	12,9
Designação - Áreas Enterradas	Área (m2)
17 - Arrecadação interior 1	9,45
18 - Arrecadação interior 2	10,95
19 - Casa das Máquinas	26
20 - Garagem	63,9
Designação - Dependencias Agricolas	Área (m2)
1A - Dependencia Agricola	139,15
2A - Instalações Sanitárias	3,5

Tabela 13 - Áreas de cada divisão das dependências agrícolas e espaços exteriores.

Em seguida apresentam-se as plantas do edifício com a envolvente definida:

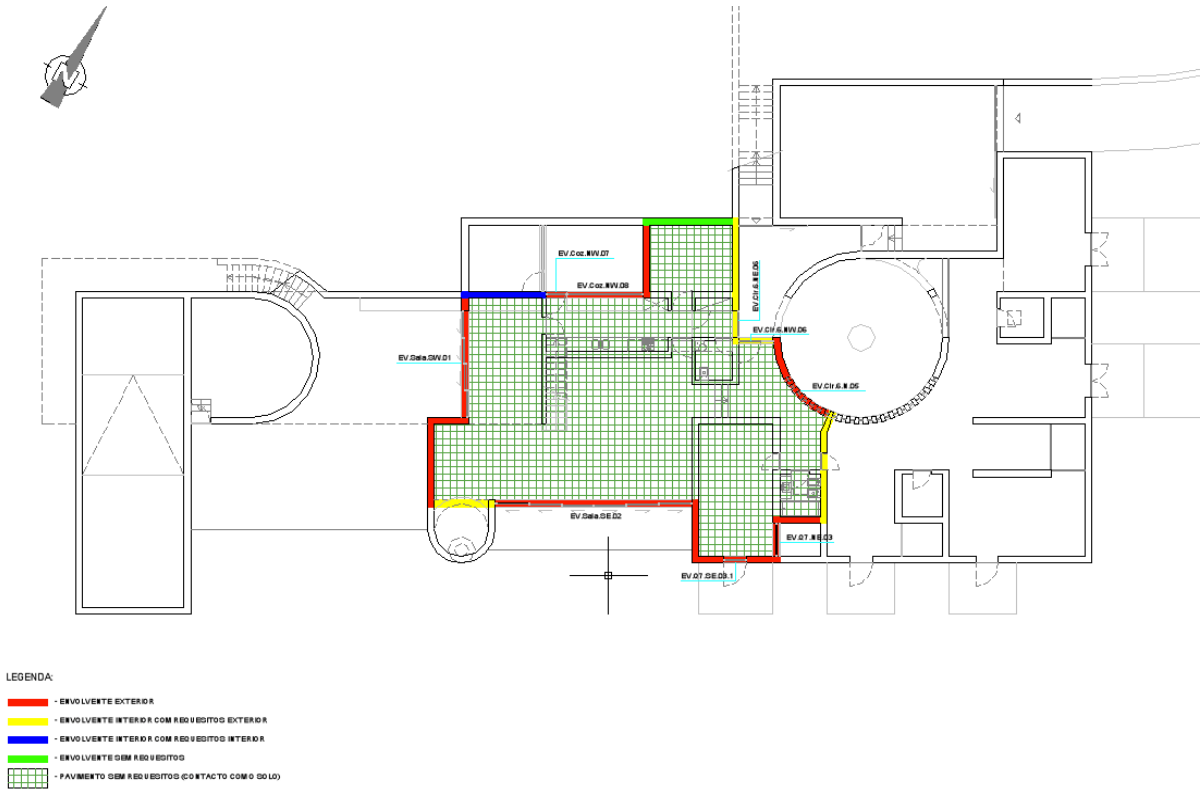

Figura 42 - Definição da envolvente do piso 0.

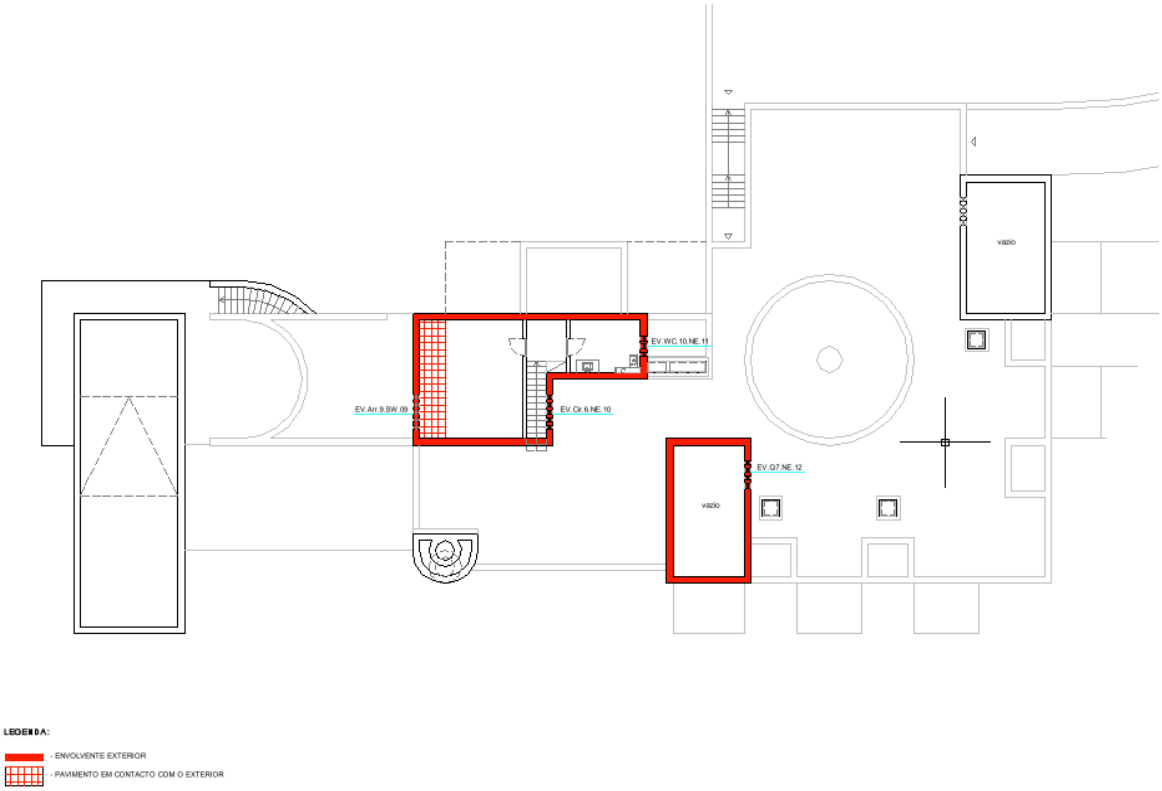

Figura 43 - Definição da envolvente do piso 1.

Em que a cor vermelha representa a envolvente exterior, a cor amarela representa a envolvente interior com requisitos de exterior, a cor azul representa a envolvente interior com requisitos de interior, a cor verde representa a envolvente sem requisitos, quadriculado verde representa o pavimento sem requisitos (contato com o solo) e o quadriculado a vermelho representa o pavimento em contato com o exterior.

3.10. Cálculo da Inércia Térmica Interior do Edifício (I_t)

A inércia térmica de um edifício mede a capacidade que ele tem de armazenar calor e depende da massa superficial útil de cada um dos seus elementos construtivos.

O calor é armazenado nos elementos durante o período em que recebem mais radiação solar e libertam-no durante a noite, aquecendo assim o espaço interior do edifício. Assim a inércia térmica é representada por:

$$(4)\quad I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \quad [kg/m^2]$$

com:
M_{si} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m^2]
S_i – Área da superfície interior do elemento i [m^2]
A_p – Área útil de pavimento [m^2]

Foi utilizado o processo de cálculo descrito no quadro VII.5 do RCCTE.

Então:

	M_{si} (kg/m^2)	S_i (m^2)	Fator de correção (r)	M_{si}*r*S_i (kg)
Coberturas	150	158,35	1	23752,5
Pavimentos interiores e em contato com o solo	300	176,19	1	52857
Pavimentos em contato com o exterior	150	8,22	1	1233
Paredes Exteriores	150	134,05	1	20107,5
Paredes Interiores	290	40,93	**1**	11869,7
			TOTAL	109819,7

Tabela 14 - Tabela de auxílio ao cálculo da Inércia Térmica Interior.

$$(5)\ I_t = \frac{109819,7}{189,98} = 578,06$$

Assim como I_t apresenta um valor superior a 400 kg/m^2 a inércia do edifício é forte.

3.11. Cálculo do fator de forma do edifício

O fator de forma (FF) relaciona os elementos por onde] transferência de calor com o volume útil do edifício. Sendo assim são contabilizados todos os elementos da envolvente (exterior e interior)

$$(6)\ FF = \frac{A_{ext} + \tau * A_{\text{int}}}{V}$$

em que:
A_{ext} – Somatório das áreas da envolvente exterior
A_{int} – Áreas da envolvente interior
V – Volume interior do edifício
τ - Coeficiente τ (valores indicados na tabela IV.1 do RCCTE)
τ

$$FF = \frac{134,05 + 158,35 + 8,22 + 57,2 + 39,51}{455,95} = 0,87$$

4. Certificação Energética do edifício

A legislação portuguesa prevê a aplicação de dois regulamentos no âmbito da certificação energética de edifícios: o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).

O primeiro aplica-se a edifícios não residênciaos ou residenciais projetados para serem dotados de sistemas de climatização com uma potencia instalada (P_r) superior a 25 kW. O segundo é de aplicação a todos os edifícios residênciais e edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados. [7][6]

Como o edificio não prevê sistemas de climatização centralizados e com potencias abaixo da referida, aplica-se unicamente o segundo regulamento, o RCCTE (D.L. nº.80/2006).

4.1. RCCTE – Âmbito de aplicação e algumas considerações

O RCCTE tem como regras principais garantir as exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantir uma qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como a necessidade de água quente sanitária. Também estabelece como regra que as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior, sejam ao máximo minimizadas.

Este regulamento é aplicável a cada uma das frações autónomas (ou seja cada uma das partes de um edifício dotada de contador individual de consumo de energia e separada do resto do edifício por uma barreira física contínua) de todos os novos edifícios de habitação e a todos os pequenos novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, independentemente de serem ou não, nos termos de legislação específica, sujeitos a licenciamento ou autorização no território nacional, com exceção das seguintes situações:

- Edifícios de serviços com mais de 1000 m^2 de área útil, exceto centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas que são considerados pequenos quando a área útil do pavimento quando a área útil do pavimento é inferior a 500 m^2 (sendo estes do âmbito exclusivo do RSECE);
- Edifícios de serviços que tenham mais de 25 kW de potencia instalada de climatização, qualquer que seja a sua área útil (sendo estes do âmbito exclusivo do RSECE);
- Edifícios de habitação com sistemas de climatização de potencia instalada ≥ 25 kW (do âmbito do RSECE);
- Edifícios ou frações autónomas destinados a serviços, a construir ou renovar que, pelas suas características de utilização, se destinem a permanecer frequentemente abertos ao contato com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados;
- Edifícios utilizados como locais de culto e edifícios com fins industriais, afetos ao processo de produção, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- Intervenções de reforma, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do RCCTE (as incompatibilidade têm que ser devidamente justificadas e aceites pela entidade licenciadora);
- Infra-estruturas militares e imóveis pertencentes ao sistemas de informações ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e confidencialidade.

Também se aplica o RCCTE às grandes intervenções de reformas ou de alteração da envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados já existentes, independentemente de serem ou não, nos termos da legislação especifica, sujeitos a licenciamento no território nacional.

Por fim estão também sujeitas ao regulamento as ampliações de edifícios existentes, exclusivamente na nova área construída, independentemente de carecerem ou não, nos termos de legislação especifica, de licenciamento no território nacional.

A aplicação deste regulamente obriga à contabilização das necessidades energéticas para aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}) e produção de água quente sanitária (N_{ac}), bem como o máximo admissível para cada uma destas necessidades.

Ele considera também as necessidades de energia primária (N_{tc}) e o seu máximo admissível (N_t).

A aplicação deste regulamento pressupõe ser um método iterativo de otimização energética do edifício.

Para efeitos de aplicação do RCCTE, considera-se que o pais está dividido em zonas climáticas de Inverno e Verão, conforme se pode verificar nas figuras 27 e 28.

É também exigido o recurso a coletores solares térmicos para produção de AQS sempre que a exposição solar foi adequada (artigo 7º do RCCTE).

São também impostas condições interiores de referência, ou de conforto térmico, sob as quais todos os cálculos têm que ser realizados, quer em termos de temperatura e umidade relativa, em termos de renovação do ar e consumos e temperatura da AQS.

Para a estação de aquecimento (inverno), a condição de referência interior é de 20ºC para a temperatura do ar enquanto que para a estação de arrefecimento (Verão) é de 25ºC para a temperatura do ar e 50% de umidade relativa.

O consumo de referencia de AQS em edifícios de habitação é de 40l por pessoa a 60ºC, por dia. [7]

4.2. RCCTE – Aplicação ao edifício em estudo.

4.2.1. Cálculo das necessidades de aquecimento (N_{ic})

As necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) para manter a tempertatura de referência anteriormente referida, são calculadas para a duração da estação de aquecimento da localidade em que se situa o edifício.

Percebe-se então que no Inverno, o edifício é mais frio quanto maior forem as necessidades de aquecimento, ou é necessário fornecer mais energia para conseguir manter a temperatura e referência do RCCTE.

Sendo assim a expressão das necessidade nominais de aquecimento desdobra-se em três parcelas:

$$(7)\quad N_{ic} = \frac{(Q_t + Q_v - Q_{gu})}{A_p}$$

em que:

Q_t – Perdas e calor por condução através da envolvente dos edifícios;
Q_v – Perdas de calor resultantes da renovação de ar;
Q_{gu} – Ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados;
A_p – Área útil de pavimento do edifício;

4.2.1.1. Perdas de calor por condução através da envolvente (Q_t)

São consideradas perdas de calor por condução através da envolvente, todas as perdas de energia que se dão através das fachadas, envidraçados, cobertura e pavimentos em contato com o exterior, devido à diferença de temperaturas entre o interior e o exterior.

$$(8)\ Q_t = Q_{ext} + Q_{\ln a} + Q_{pe} + Q_{pt}\ \text{(W)}$$

em que:

Q_{ext} – Perdas de calor pelas paredes, envidraçados, pontes térmicas planas, coberturas e pavimentos em contato com o exterior;
Q_{lna} – Perdas de calor pelas paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contato com locais não aquecidos;
Q_{pe} – Perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contato com o solo;
Q_{pt} – Perdas de calor pelas pontes térmicas lineares do edifício.

Cálculo de Q_{ext}

As perdas instantâneas pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos exteriores Q_{ext} são calculadas pela expressão:

$$(9)\ Q_{ext} = U.A.(\theta_i - \theta_{atm})\ \text{(W)}$$

em que:

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (W/m^2.ºC);
A – Área do elemento medida pelo interior (m^2);
θ_i – Temperatura do ar no interior do edifício (20ºC);
θ_{atm} – Temperatura do ar exterior.

As perdas de calor para toda a estação de aquecimento resultarão, portanto, por integração da equação de perdas instantâneas de calor em regime permanente:

$$(10)\ Q_{ext} = 0,024.U.A * GD\ \text{(kWh)}$$

em que:

0,024 – Resultado obtido pela expressão: 24 horas/1000;
GD – Graus-Dia de aquecimento que é definido como o somatório das diferenças positivas registradas entre a temperatura base (20ºC) e a temperatura do ar exterior ao longo da estação de aquecimento (Quadro III.1 do RCCTE).

Cálculo de Q_{lna}

As perdas pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos que sepraram um espaço aquecido de um local não-aquecido Q_{lna}, são calculadas pela expressão:

$$(11)\ Q_{\ln a} = U.A.(\theta_i - \theta_a)\ \text{(W)}$$

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (W/m^2.ºC)
A – Área do elemento medida pelo interior (m^2)
θ_i – Temperatura do ar no interior do edifício (20ºC)
θ_a – Temperatura do ar do local não-aquecido (ºC)

O local não-aquecido, Q_a, adopta um valor de temperatura intermédio entre a temperatura atmosférica exterior Q_{atm} e a temperatura interior de referencia

$$(12)\ \theta_a = \theta_{atm} + (1-\tau).(\theta_i - \theta_{atm})\ (^{o}C)$$

Sendo que o valor de τ é um parâmetro adimensional que toma valores de 0 a 1, e é dado pela expressão:

$$(13)\ \tau = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_{atm}}$$

Devido à dificuldade em conhecer com exatidão o valor de θ_a admite-se que τ pode tomar os valores indicados na Tabela IV.1 do RCCTE.

Durante a estação de arrefecimento, a energia necessária para compensar estas perdas de espaços em contato com locais não-aquecidos, é dada por

$$(14)\ Q_{ext} = 0,024.U.A.GD.\tau\ \text{(kWh)}$$

Cálculo de Q_{pe}

A transmissão de calor através dos elementos de construção em contato com o solo é exemplificada na seguinte figura:

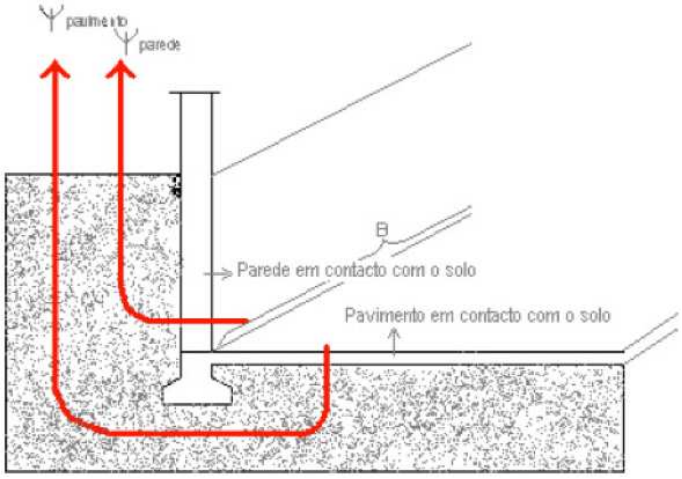

Figura 44 - Exemplo de transmissão de calor através de elementos em contato com o solo. [7]

As perdas de calor através dos elementos de construção em contato com o terreno são calculadas pela expressão:

$$(15)\ Q_{pe} = \sum \psi_j B_j\ \text{(W)}$$

em que:

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear do elemento *j* (W/m^2.ºC);
B_j – Desenvolvimento da parede medido pelo interior do elemento *j* (m);

Os valores de ψ são dados nas tabelas IV.2 do RCCTE para várias situações típicas.

A energia necessária para compensar estas perdas é dada por:

$$(16)\ Q_{pe} = 0,024.L_{pe}.GD \ \text{(kWh)}$$

Cálculo de Q_{pt}

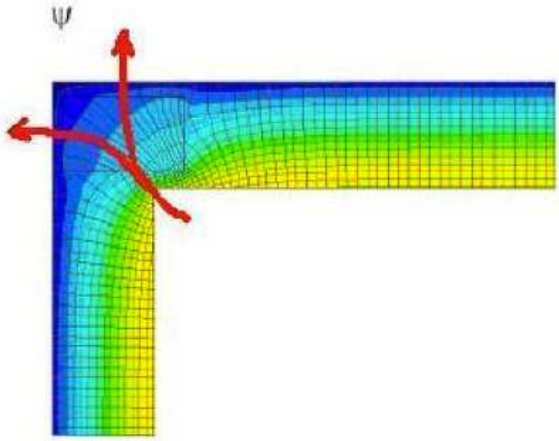

Figura 45 - Exemplo ilustrando a transmissão de calor através de uma ponte térmica linear, tratando-se neste caso, de uma ligação entre duas parades verticais (corte horizontal).

No RCCTE só se consideram pontes térmicas bidimensionais, estando o seu valor tabelado nas tabelas IV.3, que representam as situações mais comuns de na construção em Portugal. As perdas de calor através das pontes térmicas lineares são calculadas pela seguinte expressão:

$$(17)\ L_{pt} = \sum \psi_j B_j \ \text{(W/ºC)}$$

em que:

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear *j* (W/m^2.ºC);
B_j – Desenvolvimento da ponte térmica linear *j* medido pelo interior (m).

A energia necessária para compensar perdas destas natureza é dada por,

$$(18)\ Q_{pt} = 0,024.L_{pt}.GD \ \text{(kWh)}$$

Para o edifício em estudo, têm-se as seguintes perdas pela envolvente exterior:

Paredes Exteriores	Área (m^2)	U (W/m^2.ºC)	U.A (W/ºC)
N0.2-Pilar	2,88	0,5	1,44
NE1.10-Pext	1,33	0,39	0,52
NE1.11-Pext	0,57	0,39	0,22
NE1.12-Pext	1,33	0,39	0,52
NE1.2.1-Pext	4,24	0,39	1,65
NE1.2.2-Viga	0,72	0,5	0,36
NE1.2-Pext	3,33	0,39	1,30
NE1.3-Pilar	0,48	0,5	0,24
NE1,4-Pext	1,62	0,39	0,63
NE1.5-Pext	1,33	0,39	0,52
NE1.7-Pext	0,67	0,39	0,26
NE1.8-Pext	1,14	0,39	0,44
NE1.9-Pext	1,33	0,39	0,52
NW0.1-Pext	2,76	0,39	1,08
NW0.2.1-Viga	0,88	0,5	0,44
NW1.1-BE	8,04	0,5	4,02
NW1.2.1-Viga	0,62	0,5	0,31
NW1.2-Pext	9,61	0,39	3,75
NW1.3-Pilar	0,81	0,5	0,41

NW1.4.1-Viga	0,48	0,5	0,24
NW1.4-Pext	3,77	0,39	1,47
NW1.5-Pext	4,9	0,39	1,91
NW1.6-Pilar	1,15	0,5	0,58
NW1.7-Pext	6,08	0,39	2,37
SE0.2.1-Viga	1,12	0,5	0,56
SE0.2-Pext	9,94	0,39	3,88
SE0.3-Pext	4,14	0,39	1,61
SE1.2-Pext	8,46	0,39	3,30
SE1.3-Pilar	0,67	0,5	0,34
SE1.4-Pext	1,71	0,39	0,67
SE1.5-Pext	2,7	0,39	1,05
SE1.6-Pext	1,14	0,39	0,44
SE1.7-Pext	5,23	0,39	2,04
SE1.8-Pilar	1,15	0,5	0,58
SW0.1-BE	3,31	0,5	1,66
SW0.2-Pext	7,8	0,39	3,04
SW0.3-Pilar	0,49	0,5	0,25
SW0.4.1-Viga	0,13	0,5	0,07
SW0.4-Pext	1,44	0,39	0,56
SW0.5-Pext	4,68	0,39	1,83
SW0.6-Pilar	1,2	0,5	0,60
SW0.7-Pilar	1,2	0,5	0,60
SW0/1.5-Viga	0,84	0,5	0,42
SW1.2-Pilar	0,35	0,5	0,18
SW1.3-Pext	1,38	0,39	0,54
SW1.4-Pext	7,82	0,39	3,05
SW1.5-Pilar	0,58	0,5	0,29
SW1.6-Pext	6,21	0,39	2,42
SW1.7-Pilar	0,29	0,5	0,15
TOTAL	134,05		55,29

Tabela 15 - Perdas de calor pelas paredes exteriores.

Perdas pelo pavimento exterior (parte do pavimento do arrumo nº9 no piso 1):

Pavimentos Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
PaP1-Ar9Ex	8,22	0,56	4,60
TOTAL	8,22		4,60

Tabela 16 - Perdas calor pelo pavimentos exterior.

Perdas pela cobertura:

Coberturas Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
CobP0Ajar	89,03	0,34	30,27
CobP1NAjar	69,32	0,38	26,34
TOTAL	158,35		56,61

Tabela 17 - Perdas de calor pela cobertura.

Paredes e pavimentos em contato com o solo:

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
NE0.6-Pext	3	1,5	4,50
NE0,7-Pext	1,8	1,5	2,70
NW0,2-Pext	3,65	1,3	4,75
PavMedSolo	56,4	1,17	65,99
		TOTAL	77,93

Tabela 18 - Perdas de calor pelas paredes e pavimentos em contato com o solo.

Os valores de ψ foram obtidos a partir das tabelas IV.2.1 e IV.2.2.

Perdas pelos envidraçados:

Vãos envidraçados exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			
Ev.Sa.SE02	20,88	2,5	52,20
EV.Sa.SW01	11,76	2,5	29,40
EV Arr9SW09	2	2,5	5,00
EVCir6.N05	3,08	2,5	7,70
EVCir6NE10	1,65	2,5	4,13
EVCozNW07	2,12	2,5	5,30
EVCozNW08	5,27	2,5	13,18
EVCr6NE06	2,52	2,5	6,30
EVQ.7NE12	1,32	2,5	3,30
EVQ7NE03	3,15	2,5	7,88
EVQ7SE03.1	2,1	2,5	5,25
EVWV10NE11	0,99	2,5	2,48
Horizontais:			
EvWC8Hor04	0,36	2,5	0,90
TOTAL	57,2		143,00

Tabela 19 - Perdas de calor pelos envidraçados.

Perdas por pontes térmicas lineares:

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
Fachada com os pavimentos térreos	4,5	0,75	3,38
	2,84	0,75	2,13
	3	0,75	2,25
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos	7,7	0,68	5,24
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	27,92	0,75	20,94
	30,71	0,75	23,03
	18,4	0,75	13,80
Ligação entre paredes verticais	12	0,2	2,40
	20,7	0,2	4,14
	6,7	0,2	1,34
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	14,4	0,2	2,88
	22,2	0,2	4,44
	7,8	0,2	1,56
	30,8	0,2	6,16
	11,6	0,2	2,32
	22	0,2	4,40
	22	0,2	4,40
	13,2	0,2	2,64
	17,6	0,2	3,52
Ligação da cobertura à clarabóia	2,4	0,5	1,20
		TOTAL	112,16

Tabela 20 - Perdas de calor através das PTL.

Os valores de ψ encontram-se nas tabelas IV.3 do RCCTE.

As perdas de calor por condução através da envolvente, por grau-dia (Q_t/0,024GD) é a soma das parcelas apresentadas nas tabelas anteriores:

$$\frac{Q_t}{0,024.GD} = 55,29 + 4,9 + 55,61 + 77,93 + 143,0 + 112,16 \Leftrightarrow \frac{Q_t}{0,024GD} = 448,89 \text{ (W/ºC)}$$

4.2.1.2. Perdas de calor resultantes da Renovação do Ar (Q_v)

As perdas de calor devido às renovações de ar do edifício são calculada pela seguinte expressão:

$$(19)\ Q_v = \frac{\rho.C_p R_{ph}.V.(\theta_i - \theta_{atm})}{3600}\ \text{(W)}$$

em que:

ρ - Massa volúmica do ar (kg/m^3);
C_p – Calor específico do ar (J/kgºC);
R_{ph} – Taxa de renovação do ar interior;
V – Volume útil do edifício (m^3);
θ_i – Temperatura interior de referência (ºC);
θ_{atm} – Temperatura do ar exterior (ºC).

$$(20)\ \frac{\rho.C_p}{3600} = 0,34\ \text{W/m}^3$$

Logo a expressão toma a seguinte forma:

$$(21)\ Q_v = 0,34.R_{ph}.A_p.P_d.(\theta_i - \theta_{atm})\ \text{(W)}$$

em que:

A_p – Área útil de pavimento (m^2);
P_d – Pé direito médio (m).

Logo, a energia necessária para suprir esta perda é dada por:

$$(22)\ Q_v = 0,024.(0,34.R_{ph}.A_p.P_d).GD\ \text{(kWh)}$$

pois neste edifício não estão previstos meios mecânicos para assegurar a ventilação.

Cálculo da taxa de renovação horária nominal (R_{ph})

Por razões de higiene e conforto dos ocupantes, é necessário que os edifícios sejam ventilados em permanência por um caudal mínimo de ar. Em seguida detalhada-se a metodologia de cálculo baseada na presunção de que o edifício tem características construtivas ou dispositivos apropriados para garantir, por ventilação natural ou mecânica, a taxa de renovação mínima necessária de R_{ph}=0,6 h^{-1}.

Esta taxa é, por definição, o caudal horário de entrada de ar novo num edifício ou fração autónoma para renovação do ar interior, expresso em múltiplos do volume interior útil do edifício ou fração autónoma.

- **Ventilação Natural**

  Sempre que os edifícios cumpram a norma NP 1037-1, considera-se que o edifício é ventilado naturalmente e que R_{ph}=0,6 h^{-1}. Nestes edifícios não podem haver quaisquer meios mecânicos de insuflação ou de extração de ar (exceto os exaustores de cozinha e os ventiladores de banheiros ligadas à luz, dado que estes funcionam durante períodos curtos).

  No caso de o único dispositivo de ventilação mecânica presente ser o exaustor na cozinha, dado que este só funcionará, normalmente, durante curtos períodos , se considera que o edifício é ventilados naturalmente, e o valor de R_{ph} é determinado de acordo com o Quadro IV.1, em função da tipologia do edifício, exposição ao vento e permeabilidade ar ar da sua envolvente.

  Para efeitos de aplicação do RCCTE, a classe de exposição é definida de acordo com o Quadro IV.2.

  A classe da caixilharia prevista deve ser comprovada por resultados de ensaios de qualificação efetuados pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), sobre o protótipo representativo da série comercial a que a caixilharia pertence. Existem quarto classes de permeabilidade ao ar, sendo classificadas por ordem crescente de desempenho: Sem classificação, Classe 1, Classe 2, Classe 3.

Para este projeto têm-se o seguinte:

VENTILAÇÃO NATURAL	*(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*				
Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH =	0,6
Se NÃO:					
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c		Taxa de Renovação Nominal:	
Caixas de Estore	(S ou N)	N		Ver Quadro IV.1	
Classe de Exposição *(Ver Quadro IV.2)*	(1, 2, 3 ou 4)	3		RPH=	1,05
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	N			
Área de envidraçados>15% Ap?	(S ou N)	S			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	S			

Tabela 21 - Perdas associadas à renovação de ar.

- **Ventilação Mecânica**

Em edifícios em que se recorre a sistemas mecânicos, a taxa de renovação horário R_{ph} é calculada com base na expressão:

$$(23)\ R_{ph} = \frac{V_f}{V} + \frac{V_x}{V}\ (\mathrm{h}^{-1})$$

em que:

V_f – Caudal devido à ventilação mecânica (m^3/h);
V_x – Caudal devido à ventilação natural (as infiltraões devidas ao efeito do vento e ao efeito de chaminé) (m^3/h);
V – Volume útil interior da fração autónoma (m^3).

No caso do edifício utilizado para este trabalho este tipo de ventilação não está previsto.

Por fim o calor que se perde devido à renovação do ar é:

$$\frac{Q_v}{0,024.GD} = 455,95 * 1,05 * 0,34 = 162,77\ (\mathrm{W/^oC})$$

4.2.1.3. Ganhos de calor por condução através da envolvente (Q_{GU})

Os ganhos térmicos de um edifício na estação de aquecimento (inverno), têm origem em duas fontes: nas fontes internas de calor (Q_i) e nos ganhos térmicos provenientes do aproveitamento da radiação solar (Q_s). Sendo assim os ganhos térmicos brutos, Q_g, são:

$$(24)\ Q_g = Q_i + Q_s\ (\mathrm{kWh})$$

Como nem todos os ganhos térmicos brutos se traduzem num aquecimento útil do ambiente interior, dando origem por vezes apenas a um sobreaquecimento interior, os ganhos térmicos brutos são convertidos em ganhos úteis através do fator de utilização dos ganhos térmicos (η), em função da inércia térmica do edifício e da relação entre aqueles e as perdas térmicas totais do edifício:

$$(25)\ Q_{gu} = \eta . Q_g \text{ (kWh)}$$

Ganhos térmicos brutos resultantes de fontes internas (Q_i)

Estes ganhos são provocados pelos ocupantes do edifício e pelo calor dissipado nos equipamentos e dispositivos de iluminação. A expressão é a seguinte:

$$(26)\ Q_i = q_i . M . A_p . 0,720 \text{ (kWh)}$$

em que:

q_i – Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, numa base de 24 h/dia, todos os dias do ano (W/m^2);
M – Duração da estação convencional de aquecimento em meses (anexo III do RCCTE);
A_p – Área útil de pavimento (m).

Os ganhos térmicos internos médios (q_i), estão tabelados (Quadro IV.3 do RCCTE) e para o edifício em estudo, toma o valor de 4 W/m^2. Então:

$$Q_i = 4 * 5,70 * 189,98 * 0,72 = 3118,71 \text{ (kWh/ano)}$$

Fator de utilização dos ganhos térmicos, η

O fator de utilização dos ganhos térmicos é definido como a fração dos ganhos solares captados e dos ganhos internos que contribuem de forma útil para o aquecimento do ambiente durante a estação de aquecimento.

<u>Situação de Inverno</u>

Durante a estação de aquecimento, o objetivo é que a temperatura no interior do edifício seja a de referência, ou seja, 20ºC. Quando há excessivo ganho interno e solar, a temperatura interior fica acima do valor de referência dando origem a um sobreaquecimento. Os ganhos indesejáveis são classificados como "ganhos não úteis" sendo que os ganhos efetivamente utilizados para o objetivo de manter a temperatura interior igual à de referência, são considerados "ganhos úteis". Sendo assim para efeitos de cálculo dos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, η é definido como o fator de utilização dos ganhos térmicos (ganhos úteis) e é calculado pelas seguintes expressões:

$$(27)\ \begin{cases} \eta = \dfrac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} & se\ \ \gamma \neq 1 \\ \eta = \dfrac{a}{a+1} & se\ \ \gamma = 1 \end{cases}$$

em que:

γ - é a relação entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas totais do edifício e é calculado pela seguinte expressão:

$$(28)\ \gamma = \frac{ganhos\ \ totais\ \ brutos}{perdas\ \ térmicas\ \ totais} = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v}$$

a – parâmetro em função da inércia térmica do edifício:

$$a = \begin{cases} 1,8 \text{ - edificios com inércia térmica fraca} \\ 2,6 \text{ - edificios com inércia térmica média} \\ 4,2 \text{ - edificios com inércia térmica forte} \end{cases}$$

Situação de Verão

Na estação de arrefecimento (Verão), o objetivo é que a temperatura no interior do edifício seja mantida igual a 25ºC.
Os ganhos de calor não úteis são os que os sistemas de condicionamento de ar têm que retirar, e representam, portanto as necessidades de arrefecimento.
Como os ganhos e as perdas de calor de Inverno são distintos das do Verão pelas razões obvias, o fator de utilização dos ganhos térmicos η na estação de aquecimento é obtido a partir de um coeficiente γ calculado da seguinte forma :

$$(29)\ \gamma = \frac{ganhos\ \ totais\ \ brutos}{perdas\ \ térmicas\ \ totais} = \frac{Q_i + Q_s * Q_{ar-Sol}}{Q_{ext} + Q_v}$$

em que:

Q_i – Ganhos internos;
Q_s – Ganhos solares através dos vãos envidraçados;
$Q_{ar\text{-}Sol}$ – Ganhos solares através da envolvente opaca;
Q_{ext} – Perdas pela envolvente em contato com o exterior;
Q_v – Representam as perdas por ventilação.

Ganhos solares brutos através dos envidraçados, Q_s

Os ganhos solares através dos vãos envidraçados são dados por:

$$(30)\ Q_s = G_{sul}.\sum_j \left[X_j.\sum_n A_e \right].M \ \ \text{(kWh)}$$

em que:

G_{sul} – Valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul da área unitária durante a estação de aquecimento (anexo III do RCCTE) (kWh/m^{2}mês);
X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições (quadro IV.4 do RCCTE);
A_e – Área efetiva coletora da radiação solar (m_2);
M – Duração da estação de aquecimento (anexo III do RCCTE) (meses).

A área efetiva coletora de radiação solar é função de fatores relacionados com o tipo de vidro, obstruções e sombreamentos e orientações do envidraçados:

$$(31)\ A_s = A.F_s.F_g.F_w.g_\perp \ \ (\text{m}^2)$$

em que:

A – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho (m^2);
F_s – Fator de obstrução;
F_g – Fração envidraçada;
F_w – Fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar;
$g_\perp$ - Fator solar do vão envidraçado para a radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de proteção solar.

Fator solar do vão envidraçado ($g_\perp$)

Este valor relaciona a radiação que realmente atravessa o vão envidraçado para o interior do edifício, com aquela que incide na direção normal ao envidraçado.

Fator de obstrução (F_s)

Este fator representa a redução de radiação incidente no envidraçado, provocada por fontes de sombreamento permanentes, como por exemplo, edifícios contíguos, vegetação e mesmo corpos do mesmo edifício, como palas ou varandas:

$$(32)\ F_S = F_h.F_o.F_f$$

em que:

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício (Tabela IV.5 do RCCTE);
F_o – Fator de sombreamento por palas ou varandas (Tabela IV.6 do RCCTE);
F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado (Tabela IV.7 do RCCTE).

O produto de F_s por X_j nunca deve ser inferior a 0,27.

Fração envidraçada (F_g)

Esta valor mostra a redução de radiação incidente nem envidraçado devido à existência da caixilharia e é uma relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado (valores tabelados no quadro IV.5).

Fração de correção da seletividade angular dos envidraçados (F_w)

Este valor traduz a redução dos ganhos solares provenientes da variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta.
Para o edifício em estudo, os ganhos térmicos através dos vãos envidraçados são dados por:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m^2)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro $g_\perp$(-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m^2)
NW	Duplo	0,99	0,33	0,63	0,67	0,7	0,9	0,09
NW	Duplo	1,32	0,33	0,63	0,9	0,7	0,9	0,16
NW	Duplo	1,65	0,33	0,63	0,86	0,7	0,9	0,19
NW	Duplo	2,52	0,33	0,63	0,65	0,7	0,9	0,21
NW	Duplo	2,12	0,33	0,63	0,66	0,7	0,9	0,18
NW	Duplo	5,27	0,33	0,63	0,69	0,7	0,9	0,48
N	Duplo	3,08	0,27	0,63	0,9	0,7	0,9	0,30
SE	Duplo	2,1	0,84	0,63	0,9	0,7	0,9	0,63
SE	Duplo	3,15	0,84	0,63	0,34	0,7	0,9	0,36
SE	Duplo	20,88	0,84	0,63	0,43	0,7	0,9	2,99
SW	Duplo	2	0,84	0,63	0,9	0,7	0,9	0,60
SW	Duplo	11,76	0,84	0,63	0,33	0,7	0,9	1,29
Horizontal	Duplo	0,36	0,89	0,63	0,56	0,7	0,9	0,07
	Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m^2)							7,55
								x
	Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul) na zona	108	do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m^2.mês)					108
								x
	Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1				(meses)			5,7
								=
	Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)							4644,81

Tabela 22 - Ganhos úteis na estação de aquecimento.

Usa-se um fator solar do vidro ($g_{\perp}$) de 0,63 porque como é dito no RCCTE "no cálculo do factor solar de vãos envidraçados do setor residencial, salvo justificação em contrário, deve ser considerada a existência, pelo menos, de cortinas interiores muito transparentes de cor clara ($g_{\perp}$=0,70 para vidro simples incolor e $g_{\perp}$=0,63 para vidro duplo incolor)." [7]

Nos envidraçados que não têm palas de sombreamento, para que o efeito de sombreamento do contorno do vão seja contabilizado, o produto de F_o por F_f é considerado 0,9, como consta no ponto 4.3.3, alínea b) do RCCTE. Pela tabela IV.5 do RCCTE, o valor de F_h é 1, logo F_s será igual a 0,9.

Para o edificio em estudo, as necessidade nominais de aquecimento máximas (N_i), é função do fator de forma do edificio e dos graus-dia para o concelho em causa (Quadro III.1 do RCCTE).

Para um valor de 1320ºC e um fator de forma de 0,87, tem-se um valor de N_i de 74,78 kWh/m^2 (artigo 15º do RCCTE).

					Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD				Para FF < 0,5	56,64
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD				Para 0,5 < FF < 1	**72,54359**
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)				Para 1 < FF < 1,5	75,07353
Ni = 4,05 + 0,06885 GD				Para FF > 1,5	94,932

Tabela 23 - Cálculo das Necessidades de Aquecimento Máximas.

Os ganhos totais são:

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} \quad \frac{7763{,}53}{20179{,}18}$$

Inércia do edifício: 3 a = 4,2 γ = 0,384729435

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η) 0,988786181

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos 7763,53

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano) **7676,467261**

Tabela 24 - Ganhos úteis totais.

E então, finalmente é possível calcular o valor das necessidade nominais de aquecimento, para o edificio em estudo:

Perdas térmicas associadas a:	**(W/ºC)**
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	306,60
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	24,56
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	143,00
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	162,77
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/ºC)	636,94
	x
Graus-dias no Local (ºC.dia)	1320,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	20179,18
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7676,47
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	12502,72
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	189,98
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	65,81069937
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	72,54
Verifica	O.K.
Nic/Ni =	90,72%

Tabela 25 - Cálculo do indicador de Nic.

A condição $N_{ic} \leq N_i$ foi verificada sendo que $N_{ic}/N_i = 0,91$.
Assim as necessidades de aquecimento para o edificio em estudo são 91% das necessidades de aquecimento máximas admitidas, Este resultado mostra que as soluções construtivas adoptadas são eficientes do ponto de vista energético.

4.2.2. Cálculo das necessidades de arrefecimento (Nvc)

As necessidades de arrefecimento de um edificio, representam a energia que é necessária para que se consiga manter a temperatura interior de referencia (25ºC), nos meses de Verão (Junho a Setembro inclusive).

Quanto maior for o valor destas necessidadess, mais quente é o edifício e mais energia é necessária retirar para garantir as condições de temperatura interior de referencia. A expressão que quantifica estas necessidade é:

$$(33)\ N_{vc} = \frac{Q_g.(1-\eta)}{A_p}\ (\text{kWh/m}^2.\text{ano})$$

em que:

Q_g – Ganhos totais brutos do edifício;
η - Fator de utilização dos ganhos térmicos;
A_p – Área útil de pavimento.

O coeficiente η embora tenha o mesmo significado que o definido na situação de inverno, para o verão é calculado com base em condições distintas como foi mostrado atrás (6.2.1.3).

Os ganhos totais brutos do edifício (Q_g), são obtidos pela soma das seguintes parcelas:

- Ganhos através da envolvente do edifício através da incidência solar;
- Ganhos solares através dos envidraçados
- Ganhos devido à renovação do ar;
- Ganhos devido aos ocupantes, iluminação e equipamentos.

4.2.2.1. Ganhos pela envolvente (Q_1)

Os ganhos pela envolvente devem-se à diferença de temperatura entre o interior do edifício e o exterior, mas também pela radiação que incide na fachada do edifício.
Estes ganhos podem ser expressos da seguinte forma:

$$(34)\ Q_1 = 2,928.U.A.(\theta_m - \theta_i) + U.A.(\frac{\alpha.I_r}{h_e})\ \text{(kWh)}$$

Em que:

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (W/m^2);
A – Área do elemento da envolvente (m^2);
θ_m – Temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento, na zona climática de Verão onde se localiza o edifício (ºC) (Quadro III.9);
θ_i – Temperatura do ai interior (ºC);
α - Coeficiente de absorção (para a radiação solar), da superfície exterior da aprede (Quadro V.5, RCCTE);
I_r – Intensidade média de radiação incidente em cada orientação, durante toda a estação de arrefecimento (anexo III, RCCTE).
2,928 – é o resultado obtido pela expressão (122 dias * 24 h)/1000.

Na equação anterior, a primeira parcela diz respeito às perdas pela envolvente exterior devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício e a segunda parcela diz respeito, aos ganhos solares através da envolvente opaca, devido à radiação incidente.
No edificio em estudo, as perdas associadas às coberturas, pavimentos exteriores e envidraçados exteriores são:

Perdas associadas a pavimentos

Pavimentos	Área (m^2)	U ($W/m^{2o}C$)	U.A (W/ºC)
PaP1-Ar9Ex	8,22	0,58	4,7676
			0
			0
		TOTAL	4,7676

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^{2o}C$)	U.A (W/ºC)
CobP0Ajar	89,03	0,34	30,27
CobP1NAjar	69,32	0,38	26,34
			0,00
		TOTAL	56,61

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			0,00
Ev.Sa.SE02	20,88	2,5	52,20
Ev.Sa.SW01	11,76	2,5	29,40
EV Arr9SW09	2	2,5	5,00
EvCir6.N05	3,08	2,5	7,70
EVCir6NE10	1,65	2,5	4,13
EVCozNW07	2,12	2,5	5,30
EVCozNW08	5,27	2,5	13,18
EvCr6NE06	2,52	2,5	6,30
EV Q.7NE12	1,32	2,5	3,30
EvQ7NE03	3,15	2,5	7,88
EvQ7SE03.1	2,1	2,5	5,25
EV WC10NE11	0,99	2,5	2,48
			0,00
Horizontais:			0,00
Ev WC8Hor04	0,36	2,5	0,90
		TOTAL	143,00

Tabela 26 - Perdas associadas a pavimentos, coberturas e envidraçados exteriores (Verão).

As perdas térmicas totais, na estação de arrefecimento, para o edifício em estudo, são dadas por:

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		55,29	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		4,60	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)		56,61	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)		143,00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)		162,77	(W/ºC)
			=	
Perdas especificas totais		(Q1a)	422,28	(W/ºC)
Temperatura interior de referência			25	(ºC)
			-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)			21	(ºC)
			=	
Diferença de temperatura interior-exterior			4	
			x	
Perdas especificas totais		(Q1a)	422,28	(W/ºC)
			X	
			2,928	
			=	
Perdas térmicas totais		(Q1b)	4945,77	(kWh)

Tabela 27 - Perdas térmicas totais.

Os ganhos solares pela envolvente opaca, devido à incidência da radiação solar, para um edifício com as fachadas pintadas de cor branca (α=0,4), são:

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Norte	N0.2-Pilar	2,88	0,5	0,4	0,576	200	0,04	4,608
							TOTAL	4,608
Nordeste	NE1.10Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
	NE1.11Pext	0,57	0,39	0,4	0,08892	310	0,04	1,102608
	NE1.12Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
	NE1.2.1Pex	4,24	0,39	0,4	0,66144	310	0,04	8,201856
	NE1.2.2Vig	0,72	0,5	0,4	0,144	310	0,04	1,7856
	NE1.2-Pext	3,33	0,39	0,4	0,51948	310	0,04	6,441552
	NE1.3-Pilar	0,48	0,5	0,4	0,096	310	0,04	1,1904
	NE1.4-Pext	1,62	0,39	0,4	0,25272	310	0,04	3,133728
	NE1.5-Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
	NE1.7-Pext	0,67	0,39	0,4	0,10452	310	0,04	1,296048
	NE1.8-Pext	1,14	0,39	0,4	0,17784	310	0,04	2,205216
	NE1.9-Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
							TOTAL	35,648016

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Sudeste	SE0.2.1Vig	1,12	0,5	0,4	0,224	430	0,04	3,8528
	SE0.2-Pext	9,94	0,39	0,4	1,55064	430	0,04	26,671008
	SE0.3-Pext	4,14	0,39	0,4	0,64584	430	0,04	11,108448
	SE1.2-Pext	8,46	0,39	0,4	1,31976	430	0,04	22,699872
	SE1.3-Pilar	0,67	0,5	0,4	0,134	430	0,04	2,3048
	SE1.4-Pext	1,71	0,39	0,4	0,26676	430	0,04	4,588272
	SE1.5-Pext	2,7	0,39	0,4	0,4212	430	0,04	7,24464
	SE1.6-Pext	1,14	0,39	0,4	0,17784	430	0,04	3,058848
	SE1.7-Pext	5,23	0,39	0,4	0,81588	430	0,04	14,033136
	SE1.8-Pilar	1,15	0,5	0,4	0,23	430	0,04	3,956
							TOTAL	99,517824

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Sudoeste	SW0.1-BE	3,31	0,5	0,4	0,662	440	0,04	11,6512
	SW0.2-Pext	7,8	0,39	0,4	1,2168	440	0,04	21,41568
	SW0.3-Pilar	0,49	0,5	0,4	0,098	440	0,04	1,7248
	SW0.4.1Pext	0,13	0,5	0,4	0,026	440	0,04	0,4576
	SW0.4-Pext	1,44	0,39	0,4	0,22464	440	0,04	3,953664
	SW0.5-Pext	4,68	0,39	0,4	0,73008	440	0,04	12,849408
	SW0.6-Pilar	1,2	0,5	0,4	0,24	440	0,04	4,224
	SW0.7-Pilar	1,2	0,5	0,4	0,24	440	0,04	4,224
	SW0/1.5Vig	0,84	0,5	0,4	0,168	440	0,04	2,9568
	SW1.2-Pilar	0,35	0,5	0,4	0,07	440	0,04	1,232
	SW1.3-Pext	1,38	0,39	0,4	0,21528	440	0,04	3,788928
	SW1.4-Pext	7,82	0,39	0,4	1,21992	440	0,04	21,470592
	SW1.5-Pilar	0,58	0,5	0,4	0,116	440	0,04	2,0416
	SW1.6-Pext	6,21	0,39	0,4	0,96876	440	0,04	17,050176
	SW1.7-Pilar	0,29	0,5	0,4	0,058	440	0,04	1,0208
							TOTAL	110,061248

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Noroeste	NW0.1-Pext	2,76	0,39	0,4	0,43056	320	0,04	5,511168
	NW0.2.1Vig	0,88	0,5	0,4	0,176	320	0,04	2,2528
	NW1.1-BE	8,04	0,5	0,4	1,608	320	0,04	20,5824
	NW1.2.1Vig	0,62	0,5	0,4	0,124	320	0,04	1,5872
	NW1.2-Pext	9,61	0,39	0,4	1,49916	320	0,04	19,189248
	NW1.3-Pilar	0,81	0,5	0,4	0,162	320	0,04	2,0736
	NW1.4.1Vig	0,48	0,5	0,4	0,096	320	0,04	1,2288
	NW1.4-Pext	3,77	0,39	0,4	0,58812	320	0,04	7,527936
	NW1.5-Pext	4,9	0,39	0,4	0,7644	320	0,04	9,78432
	NW1.6-Pilar	1,15	0,5	0,4	0,23	320	0,04	2,944
	NW1.7-Pext	6,08	0,39	0,4	0,94848	320	0,04	12,140544
							TOTAL	84,822016
Horizontal	CobP0Ajar	89,03	0,32	0,8	22,79168	760	0,04	692,867072
	CobP1NAjar	69,32	0,37	0,8	20,51872	760	0,04	623,769088
							TOTAL	1316,63616

Total dos ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)	**1651,293264**

Tabela 28 - Ganhos solares pela envolvente opaca

4.2.2.2. Ganhos solares através dos envidraçados (Q_2)

Os ganhos solares através dos vãos envidraçados, para o edificio em estudo são dados pela expressão:

$$(35)\ Q_s = \sum_j \left[X_j \sum_n \left(A.g_{\perp}.F_s.F_g.F_w \right)_{nj} \right] \text{ (kWh)}$$

em que:

X_j – Fator de orientação, para as diferentes exposições (Quadro IV.4);
A – Área efetiva coletora da radiação solar da superfície *n* que tem a orientação *j* (m^2);
$g_{\perp}$ - Fator solar do vão envidraçado
$F_{()}$ – Fatores solares que tomam conta de eventuais "obstáculos" associados a transmissão da radiação solar para o interior do espaço útil através do vão envidraçado.

Para o edifício em estudo, têm-se:

Orientação	Área (m2)	g(-)	Fs(-)	Fg(-)	Fw(-)	Ae(m2)	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m2)		Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh/m2)
Norte	3,08	0,24	0,90	0,70	0,80	0,61	200,00		74,51
								TOTAL	74,51
Nordeste	1,65	0,24	0,90	0,70	0,85	0,34	310,00		65,74
	2,52	0,24	0,48	0,70	0,85	0,28	310,00		53,55
	1,32	0,24	0,90	0,70	0,85	0,28	310,00		52,59
	0,99	0,24	0,69	0,70	0,85	0,16	310,00		30,24
								TOTAL	202,11
Sudeste	20,88	0,24	0,45	0,70	0,85	2,18	430,00		576,95
	3,15	0,24	0,75	0,70	0,85	0,55	430,00		145,07
	2,10	0,24	0,90	0,70	0,85	0,44	430,00		116,05
								TOTAL	838,07
Sudoeste	11,76	0,24	0,38	0,70	0,85	1,04	440,00		280,78
	2,00	0,24	0,90	0,70	0,85	0,42	440,00		113,10
								TOTAL	393,88
Noroeste	2,12	0,24	0,82	0,70	0,85	0,40	320,00		79,44
	5,27	0,24	0,69	0,70	0,85	0,84	320,00		166,16
								TOTAL	245,60
Horizontal	0,36	0,24	0,90	0,70	1,00	0,09	760,00		41,37
								TOTAL	41,37
					Total dos ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)				**1795,55**

Tabela 29 - Ganhos solares pelos envidraçados exteriores.

O fator solar do vão envidraçado é calculado, considerando que os dispostitivos de sombreamento móveis estão ativados a 70%, ou seja, o fator solar do vão envidraçado é:

$$(36)\ g_{\perp 70\%} = 0,3 g_{\perp v} + 0,7 g_{\perp env}$$

em que:

$g_{\perp v}$ – 0,74
$g_{\perp env}$ – 0,03 (vidro duplo com portadas de madeira exteriores de cor clara) (quadro V.4)

Logo:

$$(37)\ g_{\perp 70\%} = 0,3 * 0,74 + 0,7 * 0,03 = 0,243$$

4.2.2.3. Ganhos térmicos internos (Q_3)

Dado que a temperatura média exterior durante toda a estação de arrefecimento θ_m é sempre inferior à temperatura interior de referencia θ_i, pode dizer-se que, ao longo da estação de arrefecimento, as cargas térmicas resultam de um balanço de perdas de ganhos térmicos. As perdas térmicas dizem respeito às perdas associadas aos elementos da envolvente exterior Q_{ext} (Q_1 na eq.34) e à renovação do ar Q_v (eq.21), enquanto que os ganhos térmicos são os associados às cargas internas Q_i (eq.38), aos ganhos solares pela envolvente devido à incidência da radiação solar (eq.34) e aos ganhos solares através dos vãos envidraçados Q_2 (eq.35). Assim sendo a expressão que quantifica os ganhos térmicos internos é:

$$(38)\ Q_i = 2,928.q_i.A_p \text{ (kWh)}$$

então:

Ganhos Internos médios (W/m^2) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	189,98	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	2225,05	**(KWh)**

Tabela 30 - Ganhos Internos Totais.

Os ganhos térmicos totais para o edifício em estudo são a soma de Q_1, Q_2 e Q_3.

4.2.2.4. Cálculo do fator de utilização dos ganhos (η)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		5671,89	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)		4945,77	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	γ	1,146816225	
Inércia do edifício	*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*	3	

Tabela 31 - Cálculo do fator de utilização dos ganhos.

Do anexo IV, ponto 4.4 do RCCTE, temos que para γ≠1,

$$(39)\quad \eta = \frac{1-\gamma^{a}}{1-\gamma^{a-1}}$$

com a=4,2, para edifícios com inércia térmica forte. Substituindo na equação anterior forte. Substituindo na equação anterior, temos:

$$\eta = \frac{1-1{,}147^{4{,}2}}{1-1{,}147^{4{,}2-1}} = 0{,}749$$

As necessidades nominais de arrefecimento, para o edifício em estudo são:

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)	0,748737	
	=	
	0,251263482	
	x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	5671,89	**(kWh)**
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	1425,14	**(kWh/ano)**
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	0	(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
	=	
	1425,14	**(kWh/ano)**
	/	
Área Útil de Pavimento (m^2)	189,98	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	7,50	
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máxima - Nv *(Nº2 do Artigo 15º)*	22	

Tabela 32 - Cálculo das Necessidades Nominais de Arref.Máxima Nv.

As necessidades nominais de arrefecimento máximas (N_v), estão definidas no ponto 2 do artigo 15º do RCCTE. Para a região climática do edifício em estudo (Zona V1, sul), N_v é de 22 kWh/m^2.ano.

Como $N_{vc} \leq N_v$, o RCCTE é verificado para efeitos de necessidade nominais de arrefecimento (N_{vc}/N_v=0,345=34,1%). As necessidades de arrefecimento para o edifício em estudo são 34,1% das necessidades de arrefecimento máximas admitidas. Este resultado mostra que as soluções construtivas adoptadas são eficientes do ponto de vista energético.

4.2.3. Cálculo das necessidades energéticas para a produção de AQS (N_{AC})

Como é referido no Anexo VI do RCCTE, para efeitos regulamentares, as necessidades anuais de energia útil para a preparação de Água Quente Sanitária (AQS), N_{AC}, são calculadas através da expressão:

$$(40)\quad N_{AC} = \frac{\frac{Q_a}{\eta_a} - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \quad \text{(kWh/m}^2\text{.ano)}$$

em que:

Q_a – Energia útil dispendida nos sistemas convencionais de produção de AQS;
η - Eficiência de conversão do sistema convencional de produção de AQS;
E_{solar} – Contribuição de sistemas de coletores solares para aquecimento de AQS;
E_{ren} – Contribuição de outras formas de energia renováveis para aquecimento de AQS;
A_p – Área útil de pavimento.

No caso do edifício em estudo, este possui uma "caldeira mural com acumulação com pelo menos 100mm de isolamento" e que possui uma eficiência de conversão de produção de AQS de 0,87 (ponto 3 do Anexo VI, do RCCTE).

4.2.3.1. Energia dispendida nos sistemas convencioanais (Q_a)

A energia dispendida com sistemas convencionais utilizados na preparação das AQS durante um ano, Q_a, é dada pela expressão:

$$(41)\quad Q_a = \frac{M_{AQS}.4187.\Delta T.\eta_d}{3600000} \quad \text{(kWh/ano)}$$

em que:

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência de AQS. Nos edifícios residenciais, M_{AQS}=40*nºocupantes (o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma está definido no Quadro VI.6);
ΔT – Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS (ΔT=45ºC);
η_d – Número anual de dias de consumo de AQS; depende do período convencional de utilização dos edifícios e é indicado no Quadro VI.2.

O consumo médio de referencia é de 40 litros e quanto ao nºocupantes do edifício em estudo, apesar de ele só ter um quarto se considerou que o espaço existente no piso 1 possui características semelhantes às de um quarto, logo para efeitos de cálculo foi considerado que o edifício possui 2 quartos e, assim o nºocupantes segundo o RCCTE é de 3.

O aumento de temepratura necessária é de 45ºC pois se considera que a água da rede é abstecida a 15ºC e a AQS deve ser aquecida a 60ºC.

O número anual de dias de consumo, para edifícios deste tipo é de 365 dias (quadro VI.2, RCCTE)

Se tem então para o edifício em estudo, as seguintes necessidades energéticas para produção de AQS:

Nº de ocupantes (Quadro VI.1)	3,00	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS}) *(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)*	120,00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) *(considerar igual a 45ºC)*	45,00	
Número anual de dias de consumo (n_d) (Quadro VI.2)	365,00	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	2292,38	(kW.h/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a) (Ponto 3 do Anexo VI)	0,87	
E_{solar}	2014,00	*Programa SOLTERM do INETI / sistemas ou equipamentos certificados pela DGGE*
E_{ren}		*Calculado com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciadora*
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	3,27	(kW.h/m^2.ano)
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, N_a	18,67459733	(kW.h/m^2.ano)

Tabela 33 - Cálculo das Necessidaes de energia para preparação de água quente sanitária.

O cálculo do valor máximo para as necessidades de energia para produção de AQS (N_a), foi feito pela seguinte expressão:

$$(42)\ N_a = \frac{0,081.M_{AQS}.\eta_d}{A_p}\ \text{(kWh/m}^2\text{.ano)}$$

O sistema convencional para preparação de agua quente sanitária é uma caldeira mural a gás com pelo menos 100mm de isolamento térmico com uma eficiência de conversão (η_a) de 0,87, encontrando-se a tubagem da rede AQS isolada com 10 mm de manga de isolamento.

A tipologia da fração foi considerada um T2, o que segundo o RCCTE pressupõe a existência de 3 pessoas.

O sistema solar térmico será constituído por um modelo *IMMOSOLAR IS-PRO 2000 TINOX* constituído por 3módulos (5,6 m^2), com uma inclinação de 33º orientados a Sul. Possui 2 conjuntos deposito/permutador com 250 litros cada e, o permutador é do tipo serpentina com eficácia de 55%. A energia captada pelo sistema , numa base anual, é de 2014 kWh/ano.

De referir que a contribuição de sistemas de coletores solares para aquecimento de AQS (E_{solar}), foi calculada utilizando o programa SolTerm do INETI.

4.2.4. Necessidades Globais de Energia Primária, N_{TC}

As necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária N_{tc}, de uma fração autónoma são calculadas com base na seguinte expressão:

$$(43)\ N_{tc} = 0,1\left(\frac{N_{ic}}{\eta_i}\right).F_{pui} + 0,1\left(\frac{N_{vc}}{\eta_v}\right).F_{puv} + N_{ac}.F_{pua}\ \text{(kgep/m}^2\text{.ano)}$$

em que:

F_{pui}, F_{puv} e F_{pua} – Fatores de ponderação das necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de AQS;
η_i – Eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento;
η_v – Eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de arrefecimento;
0,1 – redução de 10%. Esta redução aplicada relativamente às situações de arrefecimento e aquecimento se baseia no fato de as habitações não serem aquecidas nem arrefecidas 24 goras por dia, ao longo de toda a estação correspondente.

Os fatores de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária adotados pelo RCCTE são:

- F_{pu} = 0,290 kpeg/kWh no caso da eletricidade;
- F_{pu} = 0,086 kpeg/kWh no caso dos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Para a eficiência nominal dos equipamentos deverão ser utilizados os valores correspondentes aos equipamentos instalados, fornecidos pelos fabricantes dde ensaios normalizados. Na ausência de informação mais precisa, podem ser adotados os valores de referencia indicados no Quadro VI.4.

Quando um edifício não tiver previsto, especificamente, um sistema de aquecimento, de arrefecimento ambiente ou de aquecimento de água quente sanitária, se considera, para efeitos do cálculo de N_{tc}, que:

- O sistema de aquecimento é obtido por uma caldeira a combustível gasoso com eficiência 0,87;
- O sistema de arrefecimento é uma máquina frigorifica (ciclo de absorção) com eficiência 0,8;
- O sistema de produção de AQS é um termo acumulador eletrico com 50 mm de isolamento térmico em edifícios sem alimentação de gás, ou um esquentador a gás natural ou GPL quando estiver previsto o respectivo abastecimento.

Para o edifício em estudo se tem:

Ni (kW.h/m^2.ano)	72,54	
Nic (kW.h/m^2.ano)	65,81	
Nv (kW.h/m^2.ano)	22,00	
Nvc (kW.h/m^2.ano)	7,50	
Na (kW.h/m2.ano)	18,67	
Nac (kW.h/m2.ano)	3,29	
η_i	0,87	Art. 18.º - ponto 2
η_v	0,80	Art. 18.º - ponto 2
F_{pui} (kgep/kW.h)	0,086	Art. 18º - ponto 1
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,290	Art. 18º - ponto 1
F_{pua} (kgep/kW.h)	0,086	Art. 18º - ponto 1

Tabela 34 - Vários tipos de necessidades, eficiências dos sistemas de climatização e AQS, e fatores de conversão.

Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}	⇒	1,205	(kgep/m^2.ano)
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t	⇒	3,372	(kgep/m^2.ano)
	Ntc ≤ Nt?	Verifica	

Tabela 35 - Ntc e Nt.

Constatando que verifica o RCCTE vai-se agora saber qual a classe energética do edifício:

$$(44)\quad \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{1,205}{3,372} = 0,357$$

Observando a escala do RCCTE:

Classe Energética	R = Ntc/Nt
A+	R ≤ 0,25
A	0,25 < R ≤ 0,50
B	0,50 < R ≤ 0,75
B-	0,75 < R ≤ 1,00
C	1,00 < R ≤ 1,50
D	1,50 < R ≤ 2,00
E	2,00 < R ≤ 2,50
F	2,50 < R ≤ 3,00
G	3,00 < R

Figura 46 - Tabela das várias classes energéticas do RCCTE.

Verifica-se que o edifício possui **classe energética A**.

4.2.4. Análise de Sensibilidade

Para se ter uma noção de quanto as diferentes alternativas influenciam as necessidades energéticas da edificação, torna-se fundamental conhecer as quantidades iniciais das diferentes perdas e ganhos energéticos ocorridos nas estações de aquecimento e arrefecimento. Assim, apresentam-se na tabela seguinte, alguns dados estatísticos, considerando as soluções de projeto.

Estação de aquecimento (Inverno)		
Perdas térmicas pela envolvente Exterior (W/ºC)	306,60	41,3%
Paredes exteriores	55,29	18,0%
Pavimentos exteriores	4,60	1,5%
Coberturas exteriores	56,61	18,5%
Paredes e Pavimentos em contacto com o solo	77,93	25,4%
Pontes térmicas lineares	112,16	36,6%
Perdas térmicas pela envolvente Interior (W/ºC)	129,29	17,4%
Paredes interiores	17,13	13,2%
Pavimentos interiores (sobre LNA)	0,00	0,0%
Coberturas interiores	0,00	0,0%
Vãos envidraçados para LNA	0,00	0,0%
Pontes térmicas	112,16	86,8%
Perdas térmicas pelos envidraçados (W/ºC)	143,00	19,3%
Verticais	142,10	99,4%
Horizontais	0,90	0,6%
Perdas térmicas pela renovação do ar (W/ºC)	162,77	21,9%
Perdas totais	741,67 (W/ºC)	

Tabela 36 - Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas na estação de aquecimento considerando as soluções de projeto.

Estação de arrefecimento (Verão)		
Perdas térmicas (W/ºC)	422,28	
Paredes exteriores	55,29	13,1%
Pavimentos exteriores	4,60	1,1%
Coberturas exteriores	56,61	13,4%
Envidraçados exteriores	143,00	33,9%
Renovação do ar	162,77	38,5%

Ganhos térmicos (KWh)	5671,89	
Envolvente opaca	1651,29	29,1%
Envidraçados exteriores	1795,55	31,7%
Internos	2225,05	39,2%

Tabela 37 - Dados estatísticos relativos a ganhos térmicos ocorridos na estação de arrefecimento considerando as soluções de projeto.

5. Otimização do projeto

Depois de verificar a conformidade do edifício em termos energéticos, pela verificação do RCCTE, serão analisadas possíveis alternativas que permitam, através de sucessivas melhorias ao nível da envolvente, dos vãos envidraçados, da ventilação e dos equipamentos de preparação de AQS e de climatização, reduzir o consumo final de energia e assim otimizar o mais possível a eficiência do edificio em estudo. Posteriormente será analisada a influencia de cada um dos referidos equipamentos na classificação energética da edificação considerando a solução inicial e a solução final.

5.1. Análise de diferente solução para a parede exterior

Inicialmente decidiu-se alterar as caraterísticas da parede exterior em contato com o ar. Ao alterar o coeficiente de transmissão térmica (U) vão ser alterados os ganhos e perdas térmicas para as estações de aquecimento e arrefecimento. Vão então ser consideradas as seguintes soluções:

i) Parede exterior inicial (solução do projeto);
ii) Parede exterior inicial com espaço de ar de 50mm (U=0,11 W/m^2.ºC).

O ar é um excelente isolante térmico pois graças à sua baixa condutividade térmica e um baixo coeficiente de absorção de radiação, constitui um elemento muito resistente à passagem de calor. Com a adição junto ao pano de alvenaria exterior de um espaço de ar fracamente ventilado e drenado, com uma espessura de 50mm consegue-se reduzir o coeficiente de transmissão térmica (U). O espaço de ar deverá estar completamente limpo sob pena de qualquer detrito acumulado servir de transmissor de umidade entre o pano de alvenaria exterior e o isolamento térmico, com a consequente absorção de água.

Na tabela seguinte apresentam-se as necessidades energéticas para as duas soluções:

	Solução inicial	Solução com caixa de ar
Nic	65,81	65,46
Nvc	7,5	7,52
Nac	3,29	3,29
Ntc	1,20	1,20
Ntc/Nt	0,36	0,36
Classe Energética	A	A

Tabela 38 - Mapa de valores nominais para o edifício considerando as diferentes soluções de paredes exteriores.

Pela tabela anterior verifica-se que as diferenças são insignificantes, sendo quase nulas o que também era de esperar porque as paredes exteriores já apresentavam um excelente valor para o coeficiente de transmissão térmica U.

Como as alterações são praticamente nulas não irá ser mais dissecada esta solução, avançando assim para a segunda solução.

5.2. Aplicação dos coeficientes de transmissão térmica de referencia

Continuando na otimização da envolvente nada melhor que aplicar os coeficientes de transmissão térmica de referência aos vários elementos das envolventes, aumentando-se a espessura do isolamento térmico constituinte. Há apenas que ter em atenção que nenhum elemento da envolvente do edifício pode apresentar um valor de U em zona corrente (zona de ponte térmica plana) superior ao dobro dos elementos homogéneos em zona corrente ($U_1 \leq 2U$).

Os valores de referencia dos coeficientes de transmissão térmica são apresentados no quadro IX.3 do RCCTE, mas uma rápida análise nestes valores e se verifica que todos os elementos exteriores e interiores apresentam valores de U inferiores aos valores de referencia para a zona climática I_1. Sendo assim, e dado que se procura obter um edifício com os melhores valores em termos térmicos, recorreu-se à publicação europeia *U-Values for Better Energy Performance of Buildings, Report established ECOFYS for Eurima* que indica valores de coeficiente de transmissão térmica bastante baixos. Sendo assim os valores a utilizar para a zona de Lisboa (a mais próxima na publicação para o projeto) são:

Elemento da envolvente	**U (W/m²ºC)**
Paredes exteriores (e interiores com τ=1)	0,35
Pavimentos Exteriores	0,69
Coberturas Exteriores	0,27

Tabela 39 - Coeficientes de transmissão térmica de referência segundo a publicação europeia *U-Values for Better Energy Performance of Buildings, Report established ECOFYS for Eurima.*[10]

Então aplicando os referidos valores de referencia, tem-se:

	Solução com caixa de ar	**Solução c/ caixa de ar + coeficientes de referência**
Nic	65,81	61,70
Nvc	7,50	7,00
Nac	3,29	3,29
Ntc	1,20	1,15
Ntc/Nt	0,36	0,34
Classe Energética	A	A

Tabela 40 - Variação dos valores nominais para o edifício aplicando os coeficientes de ransmissão térmica de referência.

Da tabela se pode concluir que houve uma ligeira diminuição nas necessidades de arrefecimento (N_{vc}) e uma diminuição mais notória nas necessidades de aquecimento (N_{ic}). Diminuiram também, embora de forma quase impercetível, as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}), tendo então a razão N_{tc}/N_t sido mais baixa e, consequentemente, um melhoramento da eficiência energética.

Em seguida e, para melhor compreender as diferenças verificadas nas necessidades energéticas, analisam-se as perdas de energia ocorridas na estação de aquecimento e de arrefecimento:

Estação de Aquecimento (inverno)		
Perdas térmicas pela envolvente exterior (W/ºC)	**Solução com caixa de ar**	**Solução com caixa de ar + coeficientes de referencia**
Paredes Exteriores	53,16	46,92
Pavimentos exteriores	4,6	4,60
Coberturas Exteriores	56,61	42,75
Paredes e pavimentos em contato com o solo	77,93	77,93
Pontes Térmicas Lineares	112,16	112,16
TOTAL	304,47	284,37
Perdas térmicas pela envolvente interior (W/ºC)	24,56	21,73
Perdas térmicas pelos envidraçados (W/ºC)	143	143,00
Perdas térmicas pela renovação do ar (W/ºC)	162,77	162,77
TOTAL	634,8	611,88
N_{ic}	65,81	61,70

Tabela 41 - variação das perdas térmicas verificadas na estação de aquecimento com a aplicação dos coeficientes de transmissão térmica de referência.

Pela tabela anterior é fácil concluir que a redução verificada nas necessidades de aquecimento se deve ao fato de o aumento da espessura do isolamento térmico dos elementos da envolvente exterior conduzir a uma redução das perdas de energia através da mesma (menores perdas de calor para o exterior, menos necessidades de aquecer o interior na estação de aquecimento).

O fato das perdas de energia através do pavimento exterior não se terem alterado é devido ao valor de U desse elemento já ser um valor inferior ao valor de referencia da publicação.

Em seguida apresentam-se as perdas e os ganhos térmicos na estação de arrefecimento:

Estação de Arrefecimento (Verão)		
Perdas térmicas (W/ºC)	**Solução com caixa de ar**	**Solução caixa de ar + coeficientes de referência**
Paredes Exteriores	53,16	46,92
Pavimentos exteriores	4,6	4,60
Coberturas exteriores	56,61	42,75
Envidrados exteriores	143	143,00
Renovação do ar	162,77	162,77
TOTAL	420,15	400,05
Ganhos Térmicos		
Envolvente opaca	1638,13	1324,74
Envidraçados exteriores	1795,55	1795,55
Internos	2225,05	2225,05
TOTAL	5658,72	5345,34
N_{vc}	7,52	7,00

Tabela 42 - Variação das perdas e ganhos térmicos verificados na estação de arrefecimento com a aplicação dos coeficientes de transmissão térmica de referência.

A maior espessura do isolamento térmico das paredes e coberturas exteriores levou a um menor valor dos respectivos coeficientes de transmissão térmica. Sendo assim, há uma menor transferência de calor do exterior para o interior (menores ganhos térmicos através da envolvente opaca) o que por si só leva a uma diminuição das necessidades de arrefecimento (N_{vc}). No entanto este fator também leva a que haja uma diminuição das perdas térmicas pela envolvente exterior, que no verão se deve evitar, pois leva a um aumento das N_{vc} (é pretendido arrefecer o interior e não reter o calor dentro da habitação). No balanço destas duas variáveis verificou-se uma diminuição das N_{vc}, que no entanto é muito ligeira. No entanto o que realmente interessa, as N_{tc}, diminuíram, logo houve uma melhoria da eficiência energética da edificação.

5.3. Garantia da taxa de renovação mínima.

A taxa de renovação do ar é, por definição, o caudal horário de entrada de ar novo num edifício ou fração autónoma para a renovação do ar interior, expresso em múltiplos do volume interior útil do edifício ou fração autónoma. Por razões de higiene e conforto do ocupantes, é necessário que os edifícios sejam ventilados em permanência por um caudal mínimo de ar. A metodologia de cálculo indicada no regulamento é baseada no pressuposto de que o edifício tem características construtivas ou dispositivos apropriados para garantirem, por ventilação natural ou mecânica, a taxa de renovação mínima de $R_{ph} = 0,6\ h^{-1}$.

Então admitindo que o edifício em estudo cumpre as disposições da norma NP 1037-1 *"Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos locais com aparelhos a gás"* se considera que o mesmo é ventilado naturalmente e que $R_{ph} = 0,6\ h^{-1}$. Esta norma portuguesa tem por objetivo definir as regras a que devem obdecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmo cumpram a sua função nos seus múltiplos aspectos, como seja o funcionamento dos aparelhos a gás e a qualidade do ar interior. Sendo assim, com a aplicação da taxa de renovação de ar mínima, se consegue obter uma redução de $0,45\ h^{-1}$ relativamente à situação inicial. A tabela seguinte apresenta a variação das necessidades energéticas obtidas com esta alteração.

	Solução anterior (coeficientes de referência)	Solução anterior + taxa de renovação de ar minima
Nic	61,7	50,35
Nvc	7	9,55
Nac	3,29	3,29
Ntc	1,15	1,13
Ntc/Nt	0,34	0,33
Classe Energética	A	A

Tabela 43 - Variação dos valores nominais para o edifício cumprindo a taxa de renovação de ar mínima.

Nota-se então que houve um ligeiro aumento das necessidades de arrefecimento (N_{vc}) mas, em compensação houve uma notória diminuição das necessidades de aquecimento (N_{ic}). Uma vez que N_{tc} depende diretamente de N_{ic} e de N_{vc} e que o aumento das ultimas é muito pequeno quando comparado com a diminuição ocorrida nas N_{ic}, se verifica uma diminuição das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}) conduzindo a uma razão N_{tc}/N_t mais baixa e, consequentemente, a um melhoramento da eficiência energética.

Estação de Aquecimento (Inverno)		
Perdas térmicas (W/ºC)	Sistema anterior (coeficientes de referência)	Sistema anterior + taxa de renovação de ar mínima
Envolvente Exterior	284,37	284,37
Envolvente Interior	21,73	21,73
Envidraçados exteriores	143	143,00
Renovação do Ar	162,77	93,01
TOTAL	611,88	542,12
N_{ic}	61,7	50,35

Tabela 44 - Variação das perdas térmicas verificadas na estação de aquecimento com o cumprimento da taxa de renovação de ar mínima.

Estação de Arrefecimento (Verão)		
Perdas térmicas (W/ºC)	Sistema anterior (coeficientes de referência)	Sistema anterior + taxa de renovação de ar mínima
Paredes exteriores	46,92	46,92
Pavimentos exteriores	4,6	4,60
Coberturas exteriores	42,75	42,75
Envidraçados exteriores	143	143,00
Renovação do ar	162,77	93,01
TOTAL	400,05	330,29
N_{vc}	7	9,55

Tabela 45 - Variação das perdas térmicas verificadas na estação de arrefecimento com o cumprimento da taxa de renovação de ar mínima.

É então natural que, ao se reduzir de 1,05 h^{-1} para 0,6 h^{-1} as taxas de renovação horárias, ou seja, ao se reduzir o caudal horário de ar que vai ventilar o interior do edifício, se reduzem as perdas energéticas através da renovação do ar na estação de aquecimento, logo isso irá gerar uma diminuição das necessidades de aquecimento N_{ic}. Por outro lado, no Verão quando se pretende um maior arrefecimento do interior da edificação, a redução das renovações de ar interior é obviamente penalizadora, aumentando assim as necessidades de arrefecimento N_{vc}.

No entanto, o balanço destas duas variáveis é favorável às necessidades de aquecimento N_{ic}, o que é expresso pela diminuição das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}), o que implica um melhoramento da eficiência energética.

5.4. Alteração dos vãos envidraçados.

Com o objetivo de tornar a edificação mais eficiente vai-se proceder à alteração dos vãos envidraçados, por uns mais eficientes do ponto de vista energético. Após pesquisa dos envidraçados da famosa empresa de envidraçados Saint Gobain (os envidraçados do projeto já são desta marca) optou-se por um vidro duplo de baixa emissividade com 6 mm + 16 mm (com Árgon) + 6 mm com SGG PLANITHERM, que possui um coeficiente de transmissão térmica U = 1,2 W/ºC. De acordo ainda com as informações do fabricante o fator solar do vidro será de 0,40. Nesta solução o ar entre os dois vidros é substituído por um gás (Árgon) que por ser mais pesado apresenta uma condutividade térmica mais baixa.

A tabela seguinte apresenta a variação das necessidades energéticas com esta alteração:

	Solução anterior (taxa de renovação mínima)	Solução anterior + envidraçados de baixa emissividade
Nic	50,35	38,47
Nvc	9,55	9,44
Nac	3,29	3,29
Ntc	1,13	1,01
Ntc/Nt	0,33	0,30
Classe Energética	A	A

Tabela 46 - Variação dos valores nominais para o edificio com a alteração dos vãos envidraçados.

Se pode então observar que na estação de Inverno, com esta alteração, se obtem uma grande diminuição das necessidades de aquecimento (N_{ic}) enquanto que as necessidades de arrefecimento (N_{vc}) baixam mas de uma maneira quase impercétivel (o novo envidraçado apresentar um valor do coeficiente de transmissão térmica (U) muito baixo, que reduz as perdas energéticas do interior para o exterior). Com estas reduções das necessidades energéticas consegue-se também uma diminuição das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}), conduzindo a uma razão N_{tc}/N_t mais baixa e consequentemente a um melhoramento da eficiência energética.

Analisam-se em seguida as perdas energéticas verificadas na estação de aquecimento para que se possam perceber as razões que geraram tal diminuição.

Estação de Aquecimento (Inverno)		
Perdas térmicas (W/ºC)	**Sistema anterior (taxa de renovação mínima)**	**Sistema anterior + envidraçados de baixa emissividade**
Envolvente Exterior	284,37	284,37
Envolvente Interior	21,73	21,73
Envidraçados exteriores	143	68,64
Renovação do Ar	93.01	93,01
TOTAL	542,12	465,47
N_{ic}	50,35	38,47

Tabela 47 - Variação das perdas verificadas na estação de aquecimento com a alteração dos vãos envidraçados.

A colocação deste vão envidraçado com um valor de coeficiente de transmissão térmica baixo, gera uma forte diminuição das perdas térmicas através do envidraçados no Inverno.

Em seguida analisam-se as perdas e os ganhos térmicos para a estação de arrefeciemento.

Estação de Arrefecimento (Verão)		
Perdas térmicas (W/ºC)	Sistema anterior (taxa de renovação mínima)	Sistema anterior + envidraçados de baixa emissividade
Paredes exteriores	46,92	46,92
Pavimentos exteriores	4,6	4,60
Coberturas exteriores	42,75	42,75
Envidraçados exteriores	143	68,64
Renovação do ar	93,01	93,01
TOTAL	330,29	255,93
Ganhos térmicos		
Envolvente opáca	1324,74	1324,74
Envidraçados exteriores	1795,55	1047,40
Internos	2225,05	2225,05
TOTAL	5345,35	4597,19
Nvc	9,55	9,44

Tabela 48 - Variação das perdas e ganhos verificadas na estação de arrefecimento com a alteração dos vãos envidraçados.

As necessidades térmicas da estação de arrefecimento permanecem praticamente inalteradas devido ao fato de as perdas térmicas pelos envidraçados serem na ordem dos 48% enquanto que os ganhos térmicos pelos

envidraçados também caem na ordem dos 58%. No balanço total das perdas e ganhos térmicos há no entanto um ligeira diminuição das N_{vc}, logo uma pequena melhoria na eficiência térmica do edifício.

5.5. Equipamentos de Climatização e de Preparação de AQS.

Por fim e depois das alterções ao nível da envolvente, da ventilação e dos vãos envidraçados, analisa-se a melhoria da eficiência energética através da substituição dos equipamentos de preparação de AQS, de aquecimento e de arrefecimento.

Em seguida se apresenta o artigo 18º do RCCTE onde estão indicados os fatores de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária (apenas depende se a energia utilizada pelo equipamento é eletricidade ou combustível), e também os diferentes tipos de quipamentos de arrefecimento e aquecimento.

Artigo 18.º

Conversão de energia útil para energia primária

1 — Até à publicação do despacho referido no n.º 2 do artigo 8.º e pelo menos até 31 de Dezembro de 2006, utilizam-se os factores de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária a seguir indicados:

a) Electricidade: F_{pu}=0,290 kgep/kWh;
b) Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: F_{pu}=0,086 kgep/kWh.

2 — Os valores indicados no número anterior devem ser afectados pela eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento, ηi e ηv, respectivamente, sob condições nominais de funcionamento, e, na falta de dados mais precisos, podem ser adoptados os seguintes valores de referência:

a) Resistência eléctrica — 1;
b) Caldeira a combustível gasoso — 0,87;
c) Caldeira a combustível líquido — 0,8;
d) Caldeira a combustível sólido — 0,6;
e) Bomba de calor (aquecimento) — 4;
f) Bomba de calor (arrefecimento) — 3;
g) Máquina frigorífica (ciclo de compressão) — 3;
h) Máquina frigorífica (ciclo de absorção) — 0,8.

Figura 47 - Artigo 18º do RCCTE. [7]

E para o sistema de preparação de AQS encontra-se o seguinte no Anexo VI do RCCTE encontra-se o seguinte:

3 — *Eficiência de conversão do sistema de preparação das* AQS (η_a). — A eficiência de conversão do sistema de preparação das *AQS* (η_a), é definida pelo respectivo fabricante com base em ensaios normalizados, podendo ser utilizados os seguintes valores de referência na ausência de informação mais precisa:

Termoacumulador eléctrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico — 0,95;
Termoacumulador eléctrico com 50 mm a 100 mm de isolamento térmico — 0,90;
Termoacumulador eléctrico com menos de 50 mm de isolamento térmico — 0,80;
Termoacumulador a gás com pelo menos 100 mm de isolamento térmico — 0,80;
Termoacumulador a gás com 50 mm a 100 mm de isolamento térmico — 0,75;
Termoacumulador a gás com menos de 50 mm de isolamento térmico — 0,70;
Caldeira mural com acumulação com pelo menos 100 mm de isolamento térmico — 0,87;
Caldeira mural com acumulação com 50 mm a 100 mm de isolamento térmico — 0,82;
Caldeira mural com acumulação com menos de 50 mm de isolamento térmico — 0,65;
Esquentador a gás — 0,50.

Figura 48 - Anexo VI, ponto 3 do RCCTE onde se enumeram os valores de referência para os vários equipamentos de preparação de AQS. [7]

Para melhor se perceber a maior ou menos eficiência energética de cada equipamento calculam-se as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}) de cada equipamento, utilizando cada um deles separadamente, como se pode constatar nas seguintes tabelas:

Equipamento	ηi	Tipo de energia	Fpu,i	Ntc	Ntc/Nt	Classe Energética
Resistência elétrica	1,00	Eletricidade	0,290	1,50	0,44	A
Caldeira a combustível gasoso	0,87	Combustível	0,086	0,76	0,23	A+
Caldeira a combustível líquido	0,80	Combustível	0,086	0,80	0,24	A+
Caldeira a combustível sólido	0,60	Combustível	0,086	0,96	0,28	A
Bomba de calor (aquecimento)	4,00	Eletricidade	0,290	0,67	0,20	A+

Equipamento	ηv	Tipo de energia	Fpu,i	Ntc	Ntc/Nt	Classe Energética
Bomba de calor (arrefecimento)	3	Eletricidade	0,29	0,75	0,22	A+
Máquina frigorífica (ciclo de compressão)	3	Eletricidade	0,29	0,75	0,22	A+
Maquina frigorifica (ciclo de absorção)	0,8	Eletricidade	0,29	1,01	0,3	A

Tabela 49 - Influência do tipo de equipamento utilizado para o sistema de aquecimento e sistema de arrefecimento na classificação final.

Equipamento	ha	Tipo de energia	Fpu,a	Nac	Ntc	Ntc/ Nt	Classe Energética
Termoacumulador elétrico c/ pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,95	Eletricidade	0,29	2,12	1,34	0,4	A
Termoacumulador elétrico c/ 50 a 100 mm de isolamento térmico	0,9	Eletricidade	0,29	2,83	1,54	0,46	A
Termoacumulador elétrico c/ menos de 100 mm de isolamento térmico	0,8	Eletricidade	0,29	4,5	2,03	0,6	B
Termoacumulador a gás c/ pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,8	Combustível	0,086	4,5	1,11	0,33	A
Termoacumulador a gás c/ menos de 50 mm de isolamento térmico	0,75	Combustível	0,086	5,51	1,2	0,35	A
Termoacumulador a gás c/ menos de 50 mm de isolamento térmico	0,7	Combustível	0,086	6,66	1,3	0,38	A
Caldeira mural c/ acumulação c/ pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,87	Combustível	0,086	3,29	1,01	0,3	A
Caldeira mural c/ acumulação c/ 50 a 100 mm de isolamento térmico	0,82	Combustível	0,086	4,14	1,08	0,32	A
Caldeira mural c/ acumulação c/ menos de 50 mm de isolamento térmico	0,65	Combustível	0,086	7,98	1,41	0,42	A
Esquentador a gás	0,5	Combustível	0,086	13,55	1,89	0,56	B

Tabela 50 - Influência do tipo de equipamento de preparação das AQS na classificação final.

Ao analisar os resultados, se conclui facilmente que a melhoria da eficiência energética passa pela troca dos atuais sistemas de aquecimento e arrefecimento por uma bomba de calor, tanto para os equipamentos de arrefecimento como aquecimento. O sistema de preparação das AQS já é o mais eficiente possível.

Em seguida vai-se proceder à alteração de cada um dos equipamentos, então serão apresentadas as variações das necessidades energéticas obtidas com a alteração de cada um deles.

No projeto inicial tem-se para equipamento de aquecimento uma caldeira a combustível gasoso, com uma eficiência η_i=0,87 e, para equipamento de arrefecimento uma máquina frigorífica (ciclo de absorção) com uma eficiência η_i=0,8.

Procede-se então à troca da caleira a combustível gasoso por uma bomba de calor, para o sistema de aquecimento.

	Solução anterior (envidraçados de baixa emissividade)	Solução anterior + bomba de calor (η=4)
Nic	38,47	38,47
Nvc	9,44	9,44
Nac	3,29	3,29
Ntc	1,01	0,90
Ntc/Nt	0,3	0,27
Classe Energética	A	A

Tabela 51 - Variação dos valores nominais para o edifício com a adoçao de uma bomba de calor.

Como se pode observar há uma boa melhoria da eficiência energética, não sendo sendo ainda possível, com esta alteração se atingir a nível máximo da escala da classe energética do RCCTE, ou seja A+ ($R = N_{tc}/N_t \Rightarrow R \leq 0,25$).

Vai-se agora optar por instalar uma bomba de calor, ou uma maquina frigorifica (ciclo de compreesão) visto que ambos os equipamentos possuem em eficiência η_v=3,0. Vai-se optar pela máquina frigorífica (ciclo de compressão).

	Solução anterior (bomba de calor)	Solução anterior + máquina frigorífica (ciclo de compreesão) (η=3)
Nic	38,47	38,47
Nvc	9,44	9,44
Nac	3,29	3,29
Ntc	0,9	0,65
Ntc/Nt	0,27	0,19
Classe Energética	A	A+

Tabela 52 - Variação dos valores nominais para o edifício com a adoção de uma bomba de calor.

Atinge-se então a classe energética A+.

Mais uma vez se pode observar uma grande descida das necessidades nominais globais de energia primária N_{tc} e, consequentemente uma descida da razão N_{tc}/N_t.

A eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento, η_i e η_v, respectivamente, e os fatores de conversão F_{pu}, apenas entram no cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}). Desta forma, o tipo de equipamento de aquecimento e arrefecimento não tem qualquer influência nas respetivas necessidades energéticas.

Pode-se assim concluir, que as trocas de equipamentos de aquecimento e arrefecimento, bem como o equipamento de preparação de AQS, influenciam bastante o valor final de N_{tc}, verificando-se um decréscimo das mesmas, o que conduz a uma razão N_{tc}/N_t mais baixa e, consequentemente, a um melhoramento da eficiência energética da edificação.

Na tabela seguinte analisam-se alguns dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas nas estações de aquecimento e arrefecimento e a ganhos térmicos ocorridos na estação de arrefecimento, após as sucessivas melhorias efectuadas.

INVERNO

Perdas térmicas pela envolvente Exterior (W/ºC)	284,37	49,7%
Paredes exteriores	46,92	16,5%
Pavimentos exteriores	4,60	1,6%
Coberturas exteriores	42,75	15,0%
Paredes e Pavimentos em contacto com o solo	77,93	27,4%
Pontes térmicas lineares	112,16	39,4%

Perdas térmicas pela envolvente Interior (W/ºC)	126,47	22,1%
Paredes interiores	14,30	11,3%
Pavimentos interiores (sobre LNA)	0,00	0,0%
Coberturas interiores	0,00	0,0%
Vãos envidraçados para LNA	0,00	0,0%
Pontes térmicas	112,16	88,7%

Perdas térmicas pelos envidraçados (W/ºC)	68,64	12,0%
Verticais	68,21	99,4%
Horizontais	0,43	0,6%

Perdas térmicas pela renovação do ar (W/ºC)	93,01	16,2%

Perdas totais	572,49	(W/ºC)

Tabela 53 - Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas na estação de aquecimento após otimização da eficiência energética do edifício.

VERÃO

Perdas térmicas (W/ºC)	255,93	
Paredes exteriores	46,92	18,3%
Pavimentos exteriores	4,60	1,8%
Coberturas exteriores	42,75	16,7%
Envidraçados exteriores	68,64	26,8%
Renovação do ar	93,01	36,3%

Ganhos térmicos (KWh)	4597,19	
Envolvente opaca	1324,74	28,8%
Envidraçados exteriores	1047,40	22,8%
Internos	2225,05	48,4%

Tabela 54 - Dados estatísticos relativos a perdas e ganhos térmicos ocorridas na estação de arrefecimento após otimização da eficiência energética do edifício.

No subcapítulo 6.2.4 podem ser observados estes mesmo dados para a situação inicial (de projeto). Nas tabelas seguintes são então comparados os dados das tabelas 36 e 37 com os das tabelas 53 e 54.

INVERNO	Solução de projeto	Solução final	Variação percentual
Perdas térmicas pela envolvente Exterior (W/ºC)	306,60	284,37	7,2%
Paredes exteriores	55,29	46,92	15,1%
Pavimentos exteriores	4,60	4,60	0,0%
Coberturas exteriores	56,61	42,75	24,5%
Paredes e Pavimentos em contacto com o solo	77,93	77,93	0,0%
Pontes térmicas lineares	112,16	112,16	0,0%
Perdas térmicas pela envolvente Interior (W/ºC)	129,29	126,47	2,2%
Paredes interiores	17,13	14,30	16,5%
Pavimentos interiores (sobre LNA)	0,00	0,00	0,0%
Coberturas interiores	0,00	0,00	0,0%
Vãos envidraçados para LNA	0,00	0,00	0,0%
Pontes térmicas	112,16	112,16	0,0%
Perdas térmicas pelos envidraçados (W/ºC)	143,00	68,64	52,0%
Verticais	142,10	68,21	52,0%
Horizontais	0,90	0,43	52,0%
Perdas térmicas pela renovação do ar (W/ºC)	162,77	93,01	42,9%
Perdas totais	741,61	572,49	22,8%

Tabela 55 - Variação das perdas ocorridas na estação de aquecimento e da respectiva necessidade energética decorrente das sucessivass melhorias realizadas com vista à melhoria da eficiência energética do edifício.

VERÃO			
Perdas térmicas (W/ºC)	422,28	255,93	39,4%
Paredes exteriores	55,29	46,92	15,1%
Pavimentos exteriores	4,60	4,60	0,0%
Coberturas exteriores	56,61	42,75	24,5%
Envidraçados exteriores	143,00	68,64	52,0%
Renovação do ar	162,77	93,01	42,9%
Ganhos térmicos (KWh)	5671,89	4597,19	18,9%
Envolvente opaca	1651,29	1324,74	19,8%
Envidraçados exteriores	1795,55	1047,40	41,7%
Internos	2225,05	2225,05	0,0%
Necessidades de aquecimento (Nic)	65,81	38,47	41,5%
Necessidades de Arrefecimento (Nvc)	7,50	9,44	-25,9%

Tabela 56 - Variação percentual das perdas e ganhos térmicos ocorridos na estação de arrefecimento e da respectiva necessidade energética, decorrente das sucessivas melhorias realizadas com vista à melhoria da eficiência energética do edifício.

Constata-se que o objetivo de melhorar o desempenho energético do edifício foi conseguido com sucesso, verificando-se em alguns casos reduções superiores a 50%. No entanto houve um aumento de cerca de 25% nas necessidades de arrefecimento. Esse fato se deve aos envidraçados colocados terem um U elevado o que reduz as trocas energéticas entre o interior e o exterior da edificação. Esse fato é muito bom no inverno, pois permite manter a temperatura interior do edifício dentro dos valores de referência, porém na estação de arrefecimento (Verão) tem o efeito contrário, ou seja, quando devia "expulsar" o calor do interior do edificio, retém-o. No entanto como as paredes exteriores e as coberturas exteriores já são muito eficientes energeticamente os ganhos térmicos que o edifício vai ter no verão já são muito reduzidos, logo pode-se afirmar que em plena estação de arrefecimento a casa é muito eficiente. Tal fato é comprovado pelas necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}) que baixam consideravelmente desde o projeto inicial até última alteração efectuada.

5.6. Influencia do tipo de equipamentos de climatização e de preparação de AQS.

Para se entender a influência dos equipamentos de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS nas necessidades energéticas e na classificação final do edifício, analisa-se a solução final (após otimização da envolvente, vãos envidraçados e ventilação natural) com o conjunto do equipamentos energeticamente mais economizadores e com o conjunto dos equipamentos energeticamente mais dispendiosos.

Antes convém recordar os ditos equipamentos (já enunciados no sub-capitulo anterior). Os equipamentos energeticamente mais economizadores são então a bomba de calor (para aquecimento), a máquina frigorífica (ciclo de compreesão) e a caldeira mural com acumulação e com pelo menos 100 mm de isolamento térmico. Por outro lado, os equipamentos energeticamente mais dispendiosos são a resistência eletrica, a maquina frigorífica (ciclo de absorção) e o termoacumulador eletrico com menos de 50 mm de isolamento térmico.

Para a solução obtida após a otimização da envolvente, vãos envidraçados e ventilação natural, verificam-se os resultados apresentados nas seguintes tabelas.

Conjunto de equipamentos energéticamente mais economizadores						
Equipamento	h	Tipo de energia	Fpu	Ntc	Ntc/Nt	Classe Energética
Bomba de calor (aquecimento)	4	Eletricidade	0,29	0,65	0,19	A+
Máquina frigorífica (ciclo de compressão)	3	Eletricidade	0,29			
Caldeira mural c/ acumulação c/ pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,87	Combustível	0,086			

Conjunto de equipamentos energéticamente mais dispendiosos						
Equipamento	h	Tipo de energia	Fpu	Ntc	Ntc/Nt	Classe Energética
Resistência elétrica	1	Eletricidade	0,29	2,76	0,82	B-
Maquina frigorífica (ciclo de absorção)	0,8	Eletricidade	0,29			
Termoacumulador elétrico c/ menos de 50 mm de isolamento térmico	0,8	Eletricidade	0,29			

Tabela 57 - Influência do tipo de equipamentos de climatização e de preparação de AQS na classificação energética do edifício, considerando a solução otimizada.

Ao se analisar os dados da tabela 57, verifica-se que o tipo de equipamentos a utilizar tem uma grande influência nas necessidades globais anuais nominais específicas do edifício, sendo que a grande diferença observada para os valores de N_{tc} se deve fundamentalmente à eficiência nominal do equipamento, pois como η é inversamente proporcional a N_{tc}, um menor de η leva a um maior valor de N_{tc}.

Conclui-se então que por muito boa que seja a eficiência ao nível da envolvente exterior, vãos envidraçados e ventilação natural, senão se recorrer a equipamentos de climatização e de preparação de AQS eficientes, a edificação irá apresentar baixos níveis de eficiência energética.

Para se ter noção da influencia dos referidos equipamentos vai-se agora proceder à mesma análise nas tabelas anteriores mas agora considerando as soluções de iniciais (de projeto).

Conjunto de equipamentos energéticamente mais economizadores						
Equipamento	h	Tipo de energia	Fpu	Ntc	Ntc/Nt	Classe Energética
Bomba de calor (aquecimento)	4	Eletricidade	0,29	0,83	0,25	A+
Máquina frigorífica (ciclo de compressão)	3	Eletricidade	0,29			
Caldeira mural c/ acumulação c/ pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,87	Combustível	0,086			

Conjunto de equipamentos energéticamente mais dispendiosos						
Equipamento	h	Tipo de energia	Fpu	Ntc	Ntc/Nt	Classe Energética
Resistência elétrica	1	Eletricidade	0,29	3,49	1,03	C
Maquina frigorífica (ciclo de absorção)	0,8	Eletricidade	0,29			
Termoacumulador elétrico c/ menos de 50 mm de isolamento térmico	0,8	Eletricidade	0,29			

Tabela 58 - Influência do tipo de equipamentos de climatização e de preparação de AQS na classificação ener´getica do edifício, considerando a solução de projeto.

Como se pode verificar pela tabela 58, relativamente às soluções adotadas no projeto, ao se alterar os equipamentos de climatização (a caldeira a combustível gasoso por uma bomba de calor e maquina frigorífica em ciclo de absorção por uma máquina frigorífica em ciclo de compressão) consegue-se imediatamente alcançar a classe energética máxima A+. Por outro lado, ao se optar pela solução mais dispendiosa de equipamentos de climatização e preparação de AQS atinge-se a classe energética C e como consequência não se cumpre o requisito $N_{tc} \leq N_t$.

Fica então provado neste sub-capitulo a enorme influência que o tipo de equipamentos de climatização e preparação de AQS adotados tem na classificação energética de um edifício de habitação.

5.7. Influência da Zona Climática

O edificio está situado na zona climática I_1, V_2 (Sul), no entanto pretende-se analisar o edifício para a zona climática mais desfavoráveis (I_3, V_3). Para isso escolhi o concelho de Lamego que após breve consulta ao Quadro III.1 do RCCTE retirei os seguintes dados climáticos de referencia:

Zona Climática de Inverno I3			Zona Climática de Verão V3		
Nº de graus-dias (GD) [ºC.dias]	Duração da estação de aquecimento [meses]	Energia solar média incidente numa sup.vertical orientada a Sul (GSul) [kWh/m2.mês]	Temperatura exterior do projeto [ºC]	Amplitude térmica [ºC]	Temp. Média do ar ext. Na estação de arrfecimento [ºC]
2360	6,3	90	35	15	22

Zona	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
V3 - N	200	320	450	460	400	460	450	320	800

Tabela 59 - Dados climáticos mais condicionantes para a zona climática I3, V3.

Analisam-se então, para a solução de projeto (solução final) e para a solução obtida após a otimização da envolvente, vãos envidraçados e ventilação natural (solução final), as diferenças registradas nas necessidades e classificação energética do edifício.

	Solução de projeto	Solução de projeto (ZC I3, V3)

Nic	65,81	149,29
Ni	72,54	126,15
Nvc	7,50	11,61
Nv	22,00	22,00
Nac	3,29	3,29
Na	18,67	18,67
Ntc	1,21	-
Nt	3,37	-
Ntc/Nt	0,36	-
Classe Energética	A	-

Tabela 60 - Influência da zona climática na classificação energética do edifício, considerando a solução de projeto.

Como se pode notar, a mudança da localização do edifício para uma zona com dados climáticos mais extremos faz com que o edifício não seja regulamentar, pois as soluções construtivas adotadas não são suficientes para suprir as necessidades energéticas necessárias. Neste caso o edifício colocado numa zona climática I_3, V_3 não cumpre os requisitos energéticos referentes ao aquecimento (N_{ic}/N_i), logo o edifício não é energeticamente regulamentar. Fica então provado que a zona climática tem muita influencia no desempenho energético do edifício.

Segue-se então a mesma análise agora comparando a influência da zona climática para a solução otimizada.

	Solução otimizada	Solução otimizada (ZC I3, V3)
Nic	38,47	98,96
Ni	72,54	126,15
Nvc	9,44	12,67
Nv	22,00	22,00
Nac	3,29	3,29
Na	18,67	18,67
Ntc	0,65	1,12
Nt	3,37	3,86
Ntc/Nt	0,19	0,29
Classe Energética	A+	A

Tabela 61 - Influência da zona climática na classificação energética do edifício, considerando a solução otimizada.

Verifica-se também aqui que há uma influencia clara da zona climática, sendo que se verifica um aumento das necessidades de aquecimento e de arrefecimento, que naturalmente influenciam as necessidades nominais de energia primária e que neste caso fazem com que a classe energética passe de A+ para A. Conclui-se então que as melhorias ao nível da envolvente, vãos envidraçados e ventilação natural são fundamentais para que o edifício mantenha uma boa eficiência energética.

6. Sistema de Produção de Energia eletrica

O sistema de produção de energia eletrica foi dimensionado para produzir a energia consumida pela habitação, ou seja, 3,37 kpeg/m2.ano, o valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc} aquando da última otimização da edificação.

Vai ser escolhido um sistema de produção de energia por painéis fotovoltaicos, por ser um sistema de bom rendimento e que hoje em dia, e graças aos incentivos governamentais em Portugal*, é já uma opção a ter bastante em conta.

Sendo assim converteu-se a energia para unidades kWh, usando o fator de conversão de 11,64. Então:

$$(45)\ N_{tc} = 3,37 * 11,64 = 39,23 \text{ (kWh/m2.ano)}$$

Sabendo então que a área útil da edificação é de 189,89 m^2, tem-se que o consumo anual de energia da edificação é:

$$(46)\ N_{tc} * A = 39,23 * 189,89 = 7452,31 \text{ (kWh)}$$

Podem-se agora dimensionar os módulos do sistema fotovoltáico:

$$(47)\ \frac{7452,31}{1800 * 0,8} = 5,18 \text{ (kWp)}$$

Assumindo uma irradiação solar de 1800 kWh/m^2.ano com uma eficiência do sistema de 0,80 em módulos *Sunpower 240 WHT E9 Series*. Cada módulo apresenta uma potencia de 0,24 W e uma área de 1,24 m^2. Sendo assim o número de módulos e a área do painel será de:

Número de módulos [ ]	Área do painel [m2]
22,00	**27,37**

Tabela 62 - Número de módulos e área do painél fotovoltaico.

* Os incentivos governamentais podem ser visto no DL nº 363/2007 de 2 de Novembro.

7. Conclusões

O mundo hoje em dia vivência constantes apelos à economia de energia, à reciclagem, ao re-uso, entre outros e, Portugal, não é exceção. O setor dos edifícios é um dos grandes consumidores de energia em Portugal e, por isso, na fase de projeto de novos edifícios ou em reformas se devem ter em conta que, para além da funcionalidade e da estética, também devem existir preocupações energéticas. Visto que Portugal importa uma grande fatia da energia que consome, mais imperativo se torna que questões destas sejam de máxima importância.

As preocupações devem começar logo na fase de projeto. Um edifício que esteja corretamente orientado a Sul (orientação mais favorável em Portugal) consegue um maior aproveitamento da radiação solar, que lhe reduz as necessidades de aquecimento e iluminação e proporciona a instalação de sistemas de aproveitamento de energias renováveis sem recorrer a estruturas inestéticas. Outras preocupações devem contemplar a escolha de uma boa solução para a envoltoria, envidraçados adequados bem como sistemas de ventilação, natural ou mecânica, capazes de garantir o conforto térmico dos seus utilizadores, evitando o aparecimento de umidades, patologia que no clima português é bastante frequente.

Outro dos aspectos a ser considerado é o tipo de equipamento a ser escolhido. Devem ser escolhidos sempre os equipamentos de classe A ou A+, mesmo que sejam um pouco mais caros no ato da compra que os menos eficientes. São estes equipamentos que permitem uma maior poupança de energia e cuja diferença de preço se paga ao fim de um certo tempo.

Atualmente, começam cada vez mais a haver tecnologias de aproveitamento de energia renováveis e, são muitas as que podem ser aplicadas nos edifícios e residências. Desde o solar térmico, para a produção de água quente sanitária até ao solar fotovoltáico para produção de energia eletrica (apenas para referir as tecnologias empregues neste trabalho), muitas são as tecnologias disponíveis no mercado.

Um dos fatores que levam a que estas tecnologias tardem a entrar em massa nos edifícios residênciais em Portugal, é o investimento inicial necessário para as adquirir e a dificuldade do cidadão comum perceber a sua eficiência. Quanto ao investimento, mesmo com os incentivos por parte do governo para a compra deste tipo de tecnologias, estas têm ainda preço elevado. No que toca à compreensão da sua eficiência, a informação, apesar de existir, é ainda muito vaga e quando se pretendem esclarecimentos mais técnicos, o consumidor é remetido para softwares de simulação, que por si só não dão respostas às dúvidas da população em geral.

Neste trabalho pretendeu-se estudar o comportamento térmico das soluções inicialmente previstas numa edificação residencial, apresentando em seguida sucessivas soluções de melhoramento, com vista à redução das necessidades energéticas e consequente otimização da eficiência do edifício (sempre recorrendo ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios). Para se ter uma noção exata de como as diferentes alternativas influenciaram as necessidades energéticas da edificação, analisaram-se as variações das perdas e ganhos térmicos nas estações de aquecimento e arrefecimento à medida que se ia otimizando energeticamente o edifício.

Nas sucessivas otimizações da edificação (otimização de envolvente exterior, envidraçados, renovações de ar e sistemas de preparação de AQS e equipamentos de climatização), provou-se que os equipamentos de climatização e de preparação de AQS influenciam de forma bastante significativa a classificação energética do edifício.

Conclui-se então, com base neste trabalho, que uma das criticas a ser feita ao RCCTE é a pouca relevância que o cálculo das perdas associadas à envolvente exterior e interior tem para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e de arrefecimento (N_{ac}), e consequentemente para as necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}). O tempo necessário para definir os vários tipos de envolvente como, paredes exteriores em contato com o ar, paredes em contato com o solo, paredes em contato com espaços não úteis, entre outras e também a definição das pontes térmicas lineares não é proporcional à influência que estas têm nas necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}), e consequentemente na classificação energética da edificação. Como ficou provado neste trabalho, o que mais influencia as necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}) é a definição do tipos de equipamento de climatização e de preparação das AQS.

Outra conclusão que se retira deste trabalho é a influência que o clima em Portugal tem no cumprimento dos requisitos térmicos. O edifício que cumpre satisfatoriamente os requisitos térmicos numa determinada região, poderá não os cumprir em uma outra com um clima mais rigoroso. Se constatou que o edifício na sua fase inicial (solução de projeto), no concelho de Santiago do Cacém cumpre os requisitos com a classificação energética A, enquanto que o mesmo edifício já não cumpre o regulamento ao ser colocado no norte do pais, no concelho de Lamego.

Para finalizar, o objetivo principal definido para este trabalho foi atingido e senti que o dimensionamento de um edifício auto-sustentável, é uma tareda iterativa e se feita manualmente é muito demorada mas, espero ter contribuído para o conhecimento mais aprofundado desa temática por parte dos leitores.

Referencias Bibliográficas

[1] *Beaufort Court*. Publicação On-Line 2011 http://www.csustentavel.com/links/Beaufort%20Court.pdf.

[2] BioRegional. http://www.bioregional.com/

[3] Camelo, Susana; Pina dos Santos, Carlos; Gonçalves, Hélder. Manual de apoio à Aplicação do RCCTE. Lisboa, INETI, 2006.

[4] *CRESEB Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito*. http://www.cresesb.cepel.br/

[5] *DGGE Direcção-Geral de Energia e Geologia*. Publicação On-Line. 2011 www.dgge.pt.

[6] D.L. nº.79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. (RSECE).

[7] D.L. nº 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

[8] *Edifício Solar XXI Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*, INETI, Dezembro de 2006.

[9] *Energia Solar Térmica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*

[10] Eurima, ECOFYS for. "*U-Values for Better Energy Performance of Buildings, Report*" 2007.

[11] Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015, European Photovoltaic Industry Association (EPIA).

[12] Gonçalves, Hélder; Mariz Graça, João. *"Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal"*.

[13] Lamberts, Roberto, Casa Eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico, LabEEE/UFSC.

[14] Lamberts, Roberto. *Desempenho térmico de edificações.* Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina.

[15] Market Outlook December 2010, European Photovoltaic Industry Association (EPIA).

[16] NP 1037-1, Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.

[17] *Obvious*; http://obviousmag.org/

[18] Pina dos Santos, Carlos A; Matias, João; "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios", LNEC.

[19] Pinheiro, Manuel Duarte; Ambiente e Construção Sustentável, Instituto do Ambiente, Amadora, 2006.

[20] *Portal das Energias Renováveis.* http://www.energiasrenovaveis.com/

[21] *Saint Gobain*. Publicação On-Line. 2011 http://www.saint-gobain-glass.com

[22] SolarArk; http://sanyo.com/solar/solarark/

[23] *Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2009*, European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), June 2010

[24] Torcellini, Paul; Pless, Shanti; Deru, Michael, National Renewable Energy Laboratory; Crawley, Drury; U.S. Department of Energy; Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.

Bibliografia complementar consultada

- ADENE. *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE.* ADENE Agência para a Energia, 2009.
- Aelenei, Daniel. *RCCTE "Light".* Departamento de Engenharia Civil da Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- Constantino Pedro. *Eficiência energética de uma residência unifamiliar em Portugal.* Florianópolis; Departamento de Enegenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina; 2010.
- Mendes de Freitas Lopes, Rodrigo. *Otimização do Desempenho Energético de um Edifício Residencial em Portugal.* Florianópolis; Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina; 2010.
- *Simões, Nuno. Aplicação do Novo RCCTE (Decreto-Lei nº80/2006).* Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, 2007.

- WWF-Brasil; http://www.wwf.org.br/

ANEXOS

Dados Gerais sobre a Fração Autónoma
Características da Fração Autónoma
Folha de Cálculo FC IV1.a
Folha de Cálculo FC IV1.b
Folha de Cálculo FC IV1.c
Folha de Cálculo FC IV1.d
Folha de Cálculo FC IV1.e
Folha de Cálculo FC IV1.f
Folha de Cálculo FC IV.2
Folha de Cálculo FC V.1a
Folha de Cálculo FC V.1b
Folha de Cálculo FC V.1c
Folha de Cálculo FC V.1d
Folha de Cálculo FC V.1e
Folha de Cálculo FC V.1f
Folha de Cálculo FC V.1g
Cálculo das Necessidades de energia para Preparação das AQS
Necessidades Globais de Energia Primária

Dados Gerais Sobre a Fração Autónoma
Zonamento Climático

Concelho Alcobaça

Zona Climática de Inverno I1			Zona Climática de Verão V2		
Nº de graus-dias (GD) [ºC.dias]	Duração da estação de aquecimento [meses]	Energia solar média incidente numa sup.vertical orientada a Sul (GSul) [kWh/m2.mês]	Temperatura exterior do projeto [ºC]	Amplitude térmica [ºC]	Temp. Média do ar ext. Na estação de arrfecimento [ºC]
1320	5,7	108	32	14	22

Valores da intensidade da radição solar Ir		
V_2 S	θatm	23
	N.	200
	NE.	320
	E.	470
	SE.	460
	S.	380
	SW.	460
	W.	470
	NW.	340
	Hoz.	820

Características da Fração Autónoma

Identificação da FA	Hab.Unifamiliar
Área útil de pavimento Ap (m2)	189,98
Pé direito médio (m)	2,4

Tipo de edifício	Residencial
Utilização da FA	Permanente
Ed.Situado em zona muito exposta ao vento	

qi	4 W/m^2
nd	365 dias/ano
Exp	3

Folha de Cálculo FCIV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
N0.2-Pilar	2,88	0,5	1,44
NE1.10-Pext	1,33	0,39	0,52
NE1.11-Pext	0,57	0,39	0,22
NE1.12-Pext	1,33	0,39	0,52
NE1.2.1-Pext	4,24	0,39	1,65
NE1.2.2-Viga	0,72	0,5	0,36
NE1.2-Pext	3,33	0,39	1,30
NE1.3-Pilar	0,48	0,5	0,24
NE1,4-Pext	1,62	0,39	0,63
NE1.5-Pext	1,33	0,39	0,52
NE1.7-Pext	0,67	0,39	0,26
NE1.8-Pext	1,14	0,39	0,44
NE1.9-Pext	1,33	0,39	0,52
NW0.1-Pext	2,76	0,39	1,08
NW0.2.1-Viga	0,88	0,5	0,44
NW1.1-BE	8,04	0,5	4,02
NW1.2.1-Viga	0,62	0,5	0,31
NW1.2-Pext	9,61	0,39	3,75
NW1.3-Pilar	0,81	0,5	0,41
NW1.4.1-Viga	0,48	0,5	0,24
NW1.4-Pext	3,77	0,39	1,47
NW1.5-Pext	4,9	0,39	1,91
NW1.6-Pilar	1,15	0,5	0,58
NW1.7-Pext	6,08	0,39	2,37
SE0.2.1-Viga	1,12	0,5	0,56
SE0.2-Pext	9,94	0,39	3,88
SE0.3-Pext	4,14	0,39	1,61
SE1.2-Pext	8,46	0,39	3,30
SE1.3-Pilar	0,67	0,5	0,34
SE1.4-Pext	1,71	0,39	0,67
SE1.5-Pext	2,7	0,39	1,05
SE1.6-Pext	1,14	0,39	0,44
SE1.7-Pext	5,23	0,39	2,04
SE1.8-Pilar	1,15	0,5	0,58
SW0.1-BE	3,31	0,5	1,66
SW0.2-Pext	7,8	0,39	3,04
SW0.3-Pilar	0,49	0,5	0,25
SW0.4.1-Viga	0,13	0,5	0,07
SW0.4-Pext	1,44	0,39	0,56
SW0.5-Pext	4,68	0,39	1,83
SW0.6-Pilar	1,2	0,5	0,60
SW0.7-Pilar	1,2	0,5	0,60
SW0/1.5-Viga	0,84	0,5	0,42
SW1.2-Pilar	0,35	0,5	0,18
SW1.3-Pext	1,38	0,39	0,54
SW1.4-Pext	7,82	0,39	3,05
SW1.5-Pilar	0,58	0,5	0,29
SW1.6-Pext	6,21	0,39	2,42
SW1.7-Pilar	0,29	0,5	0,15
TOTAL	134,05		55,29

Pavimentos Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
PaP1-Ar9Ex	8,22	0,56	4,60
			0,00
			0,00
TOTAL	8,22		4,60

Coberturas Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
CobP0Ajar	89,03	0,34	30,27
CobP1NAjar	69,32	0,38	26,34
			0,00
TOTAL	158,35		56,61

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
NE0.6-Pext	3	1,5	4,50
NE0,7-Pext	1,8	1,5	2,70
NW0,2-Pext	3,65	1,3	4,75
PavMedSolo	56,4	1,17	65,99
		TOTAL	77,93

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
Fachada com os pavimentos térreos	4,5	0,75	3,38
	2,84	0,75	2,13
	3	0,75	2,25
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos	7,7	0,68	5,24
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	27,92	0,75	20,94
	30,71	0,75	23,03
	18,4	0,75	13,80
Ligação entre paredes verticais	12	0,2	2,40
	20,7	0,2	4,14
	6,7	0,2	1,34
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	14,4	0,2	2,88
	22,2	0,2	4,44
	7,8	0,2	1,56
	30,8	0,2	6,16
	11,6	0,2	2,32
	22	0,2	4,40
	22	0,2	4,40
	13,2	0,2	2,64
	17,6	0,2	3,52
Ligação da cobertura à clarabóia	2,4	0,5	1,20
		TOTAL	112,16

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	306,60

Folha de Cálculo FCIV.1b

Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)	τ.A m^2
E0.1-Pext	11,66	0,44	0,95	4,87	11,08
NE0.2.1-Pilar	0,24	0,44	0,95	0,10	0,23
NE0.2-Pext	4,8	0,44	0,95	2,01	4,56
NE0.3-Pext	11,66	0,44	0,95	4,87	11,08
NE0.4-Pext	1,26	0,42	0,9	0,48	1,13
NE0.5-Pext	6,3	0,42	0,9	2,38	5,67
SE0.1-BE	5,76	0,42	1	2,42	5,76
TOTAL	41,68			17,13	39,51

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	τ (-)	$\tau.\psi$.B (W/ºC)
PTL0.15-e)	2,1	0,75	0,95	1,50
PTL0.16-e)	1,66	0,75	0,95	1,18
PTL0.18-e)	1,5	0,75	0,9	1,01
PTL0.31-j)	6,4	0,2	0,95	1,22
PTL0.32.1j)	6,6	0,2	0,9	1,19
PTL0.32-j)	7,4	0,2	0,9	1,33
			TOTAL	7,43

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	24,56

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:
Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;
Edifícios anexos;
Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;
Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FCIV.1c

Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			
Ev.Sa.SE02	20,88	2,5	52,20
EV.Sa.SW01	11,76	2,5	29,40
EV Arr9SW09	2	2,5	5,00
EVCir6.N05	3,08	2,5	7,70
EVCir6NE10	1,65	2,5	4,13
EVCozNW07	2,12	2,5	5,30
EVCozNW08	5,27	2,5	13,18
EVCr6NE06	2,52	2,5	6,30
EVQ.7NE12	1,32	2,5	3,30
EVQ7NE03	3,15	2,5	7,88
EVQ7SE03.1	2,1	2,5	5,25
EVWV10NE11	0,99	2,5	2,48
TOTAL			142,10
Horizontais:			
EvWC8Hor04	0,36	2,5	0,90
TOTAL			0,90

TOTAL	36,32	143,00

Folha de Cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		189,98	(m^2)
		x	
Pé-direito médio		2,4	(m)
		=	
Volume interior	(V)	455,95	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL	*(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*				
Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH =	0,6
Se NÃO:					
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c		Taxa de Renovação Nominal:	
Caixas de Estore	(S ou N)	N		Ver Quadro IV.1	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	3		RPH=	1,05
(Ver Quadro IV.2) Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	N			
Área de envidraçados>15% Ap?	(S ou N)	S			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	S			

VENTILAÇÃO MECÂNICA *(excluir exaustor da cozinha)*					
Caudal de Insuflação	Vins - (m^3/h)			Vf =	0,00
Caudal Extraído	Vev - (m^3/h)				
Diferença entre Vins e Vev	(m^3/h)	0,00	/	V = (volume int)	0 RPH (**)
Infiltrações *(Vent. Natural)*	Vx - (h^{-1})				
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η =	
				se NÃO, η =	0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0		(Vf / V + Vx).(1-η)	
Consumo de Electricidade para os ventiladores		1		(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	

Volume		455,95	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		1,05	
		x	
		0,34	
		=	
	TOTAL	162,77	(W/ºC)

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m^2)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m^2)
NW	Duplo	0,99	0,33	0,63	0,67	0,7	0,9	0,09
NW	Duplo	1,32	0,33	0,63	0,9	0,7	0,9	0,16
NW	Duplo	1,65	0,33	0,63	0,86	0,7	0,9	0,19
NW	Duplo	2,52	0,33	0,63	0,65	0,7	0,9	0,21
NW	Duplo	2,12	0,33	0,63	0,66	0,7	0,9	0,18
NW	Duplo	5,27	0,33	0,63	0,69	0,7	0,9	0,48
N	Duplo	3,08	0,27	0,63	0,9	0,7	0,9	0,30
SE	Duplo	2,1	0,84	0,63	0,9	0,7	0,9	0,63
SE	Duplo	3,15	0,84	0,63	0,34	0,7	0,9	0,36
SE	Duplo	20,88	0,84	0,63	0,43	0,7	0,9	2,99
SW	Duplo	2	0,84	0,63	0,9	0,7	0,9	0,60
SW	Duplo	11,76	0,84	0,63	0,33	0,7	0,9	1,29
Horizontal	Duplo	0,36	0,89	0,63	0,56	0,7	0,9	0,07

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m^2) 7,55

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)
na zona 108 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m^2.mês) 108

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses) 5,7

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano) 4644,81

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4	(W/m^2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		5,70	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		189,98	(m^2)
		x	
		0,72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		3118,71	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} \quad \frac{7763,53}{20179,18}$$

Inércia do edifício: 3 a = 4,2 γ = 0,384729435

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos	(η)	0,988786181
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		7763,53
		=
	Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	7676,467261

Cálculo intermédio:		
Se γ = 1	η =	0,807692308
Se $\gamma \neq 1$	η =	0,988786181

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma

De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m^2
Paredes exteriores		134,05
Coberturas exteriores		158,35
Pavimentos exteriores		8,22
Envidraçados exteriores		36,32
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		39,51
Cobertuiras interiores		0
Pavimentos interiores		0
Envidraçados interiores		0
Área total:		376,45
		/
Volume (de FCIV.1d):		455,95
		=
FF		0,825626382

Graus-dias no local (ºC.dia)	(do Quadro III.1)	1320

		Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	56,64
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	72,54359248
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	75,07353022
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	94,932

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) 72,54359248

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	**(W/ºC)**
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	306,60
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	24,56
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	143,00
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	162,77

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/ºC)	636,94
	x
Graus-dias no Local (ºC.dia)	1320,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	20179,18
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7676,47
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	12502,72
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	189,98
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	65,81069937
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	72,54

Verifica O.K.

Nic/Ni = 90,72%

Folha de cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		55,29	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		4,60	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)		56,61	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)		143,00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)		162,77	(W/ºC)
			=	
Perdas especificas totais		(Q1a)	422,28	(W/ºC)

Temperatura interior de referência			25	(ºC)
			-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)			21	(ºC)
			=	
Diferença de temperatura interior-exterior			4	
			x	
Perdas especificas totais		(Q1a)	422,28	(W/ºC)
			x	
			2,928	
			=	
Perdas térmicas totais		(Q1b)	4945,77	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b

Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas a pavimentos

Pavimentos	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
PaP1-Ar9Ex	8,22	0,56	4,60
		TOTAL	4,60

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
CobP0Ajar	89,03	0,34	30,27
CobP1NAjar	69,32	0,38	26,34
		TOTAL	56,61

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			0,00
Ev.Sa.SE02	20,88	2,5	52,20
Ev.Sa.SW01	11,76	2,5	29,40
EV Arr9SW09	2	2,5	5,00
EvCir6.N05	3,08	2,5	7,70
EVCir6NE10	1,65	2,5	4,13
EVCozNW07	2,12	2,5	5,30
EVCozNW08	5,27	2,5	13,18
EvCr6NE06	2,52	2,5	6,30
EV Q.7NE12	1,32	2,5	3,30
EvQ7NE03	3,15	2,5	7,88
EvQ7SE03.1	2,1	2,5	5,25
EV WC10NE11	0,99	2,5	2,48
Horizontais:			
Ev WC8Hor04	0,36	2,5	0,90
		TOTAL	143,00

Folha de Cálculo FC V.1c

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Norte	N0.2-Pilar	2,88	0,5	0,4	0,576	200	0,04	4,608
							TOTAL	4,608
Nordeste	NE1.10Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
	NE1.11Pext	0,57	0,39	0,4	0,08892	310	0,04	1,102608
	NE1.12Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
	NE1.2.1Pex	4,24	0,39	0,4	0,66144	310	0,04	8,201856
	NE1.2.2Vig	0,72	0,5	0,4	0,144	310	0,04	1,7856
	NE1.2-Pext	3,33	0,39	0,4	0,51948	310	0,04	6,441552
	NE1.3-Pilar	0,48	0,5	0,4	0,096	310	0,04	1,1904
	NE1.4-Pext	1,62	0,39	0,4	0,25272	310	0,04	3,133728
	NE1.5-Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
	NE1.7-Pext	0,67	0,39	0,4	0,10452	310	0,04	1,296048
	NE1.8-Pext	1,14	0,39	0,4	0,17784	310	0,04	2,205216
	NE1.9-Pext	1,33	0,39	0,4	0,20748	310	0,04	2,572752
							TOTAL	35,648016

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Sudeste	SE0.2.1Vig	1,12	0,5	0,4	0,224	430	0,04	3,8528
	SE0.2-Pext	9,94	0,39	0,4	1,55064	430	0,04	26,671008
	SE0.3-Pext	4,14	0,39	0,4	0,64584	430	0,04	11,108448
	SE1.2-Pext	8,46	0,39	0,4	1,31976	430	0,04	22,699872
	SE1.3-Pilar	0,67	0,5	0,4	0,134	430	0,04	2,3048
	SE1.4-Pext	1,71	0,39	0,4	0,26676	430	0,04	4,588272
	SE1.5-Pext	2,7	0,39	0,4	0,4212	430	0,04	7,24464
	SE1.6-Pext	1,14	0,39	0,4	0,17784	430	0,04	3,058848
	SE1.7-Pext	5,23	0,39	0,4	0,81588	430	0,04	14,033136
	SE1.8-Pilar	1,15	0,5	0,4	0,23	430	0,04	3,956
							TOTAL	99,517824

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Sudoeste	SW0.1-BE	3,31	0,5	0,4	0,662	440	0,04	11,6512
	SW0.2-Pext	7,8	0,39	0,4	1,2168	440	0,04	21,41568
	SW0.3-Pilar	0,49	0,5	0,4	0,098	440	0,04	1,7248
	SW0.4.1Pext	0,13	0,5	0,4	0,026	440	0,04	0,4576
	SW0.4-Pext	1,44	0,39	0,4	0,22464	440	0,04	3,953664
	SW0.5-Pext	4,68	0,39	0,4	0,73008	440	0,04	12,849408
	SW0.6-Pilar	1,2	0,5	0,4	0,24	440	0,04	4,224
	SW0.7-Pilar	1,2	0,5	0,4	0,24	440	0,04	4,224
	SW0/1.5Vig	0,84	0,5	0,4	0,168	440	0,04	2,9568
	SW1.2-Pilar	0,35	0,5	0,4	0,07	440	0,04	1,232
	SW1.3-Pext	1,38	0,39	0,4	0,21528	440	0,04	3,788928
	SW1.4-Pext	7,82	0,39	0,4	1,21992	440	0,04	21,470592
	SW1.5-Pilar	0,58	0,5	0,4	0,116	440	0,04	2,0416
	SW1.6-Pext	6,21	0,39	0,4	0,96876	440	0,04	17,050176
	SW1.7-Pilar	0,29	0,5	0,4	0,058	440	0,04	1,0208
							TOTAL	110,061248

Orientação	Ref. elemento	Área, A (m2)	U (W/m2ºC)	Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	α.U.A (W/ºC)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	Coeficiente C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior
Noroeste	NW0.1-Pext	2,76	0,39	0,4	0,43056	320	0,04	5,511168
	NW0.2.1Vig	0,88	0,5	0,4	0,176	320	0,04	2,2528
	NW1.1-BE	8,04	0,5	0,4	1,608	320	0,04	20,5824
	NW1.2.1Vig	0,62	0,5	0,4	0,124	320	0,04	1,5872
	NW1.2-Pext	9,61	0,39	0,4	1,49916	320	0,04	19,189248
	NW1.3-Pilar	0,81	0,5	0,4	0,162	320	0,04	2,0736
	NW1.4.1Vig	0,48	0,5	0,4	0,096	320	0,04	1,2288
	NW1.4-Pext	3,77	0,39	0,4	0,58812	320	0,04	7,527936
	NW1.5-Pext	4,9	0,39	0,4	0,7644	320	0,04	9,78432
	NW1.6-Pilar	1,15	0,5	0,4	0,23	320	0,04	2,944
	NW1.7-Pext	6,08	0,39	0,4	0,94848	320	0,04	12,140544
							TOTAL	84,822016
Horizontal	CobP0Ajar	89,03	0,32	0,8	22,79168	760	0,04	692,867072
	CobP1NAjar	69,32	0,37	0,8	20,51872	760	0,04	623,769088
							TOTAL	1316,63616

Total dos ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)	**1651,293264**

Folha de Cálculo FC V.1d

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

Orientação	Área (m2)	g(-)	Fs(-)	Fg(-)	Fw(-)	Ae(m2)	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m2)		Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh/m2)
Norte	3,08	0,24	0,90	0,70	0,80	0,61	200,00		74,51
								TOTAL	74,51
Nordeste	1,65	0,24	0,90	0,70	0,85	0,34	310,00		65,74
	2,52	0,24	0,48	0,70	0,85	0,28	310,00		53,55
	1,32	0,24	0,90	0,70	0,85	0,28	310,00		52,59
	0,99	0,24	0,69	0,70	0,85	0,16	310,00		30,24
								TOTAL	202,11
Sudeste	20,88	0,24	0,45	0,70	0,85	2,18	430,00		576,95
	3,15	0,24	0,75	0,70	0,85	0,55	430,00		145,07
	2,10	0,24	0,90	0,70	0,85	0,44	430,00		116,05
								TOTAL	838,07
Sudoeste	11,76	0,24	0,38	0,70	0,85	1,04	440,00		280,78
	2,00	0,24	0,90	0,70	0,85	0,42	440,00		113,10
								TOTAL	393,88
Noroeste	2,12	0,24	0,82	0,70	0,85	0,40	320,00		79,44
	5,27	0,24	0,69	0,70	0,85	0,84	320,00		166,16
								TOTAL	245,60
Horizontal	0,36	0,24	0,90	0,70	1,00	0,09	760,00		41,37
								TOTAL	41,37

Total dos ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	**1795,55**

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m^2) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	189,98	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	2225,05	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	1795,55	**(KWh)**
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	1651,29	**(KWh)**
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	2225,05	**(KWh)**
	=	
Ganhos Térmicos Totais	5671,89	**(KWh)**

Folha de cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		5671,89	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)		4945,77	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	γ	1,146816225	
Inércia do edifício	*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*	3	

Cálculo intermédio:

a = 4,2

γ = 1 η = 0,807692308

γ ≠ 1 η = 0,748736518

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)		0,748736518	
		=	
		0,251263482	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		5671,89	**(kWh)**
		=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento		1425,14	**(kWh/ano)**
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)			(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
		=	
	TOTAL	1425,14	**(kWh/ano)**
		/	
Área Útil de Pavimento (m^2)		189,98	
		=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc		7,50	**(kWh/m^2.ano)**
		≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv *(Nº2 do Artigo 15º)*		22	**(kWh/m^2.ano)**

Verifica **O.K.**

Nvc/Nv (%) = 34,10

Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária		
Nº de ocupantes (Quadro VI.1)	3,00	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS}) *(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)*	120,00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) *(considerar igual a 45ºC)*	45,00	
Número anual de dias de consumo (n_d) (Quadro VI.2)	365,00	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	2292,38	(kW.h/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a) (Ponto 3 do Anexo VI)	0,87	
E_{solar}	2010,00	*Programa SOLTERM do INETI / sistemas ou equipamentos certificados pela DGGE*
E_{ren}		*Calculado com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciadora*
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	3,29	(kW.h/m^2.ano)
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, N_a	18,67459733	(kW.h/m^2.ano)

Nac ≤ Na? Verifica

Necessidades Globais de Energia Primária

Ni (kW.h/m^2.ano)	72,54	
Nic (kW.h/m^2.ano)	65,81	
Nv (kW.h/m^2.ano)	22,00	
Nvc (kW.h/m^2.ano)	7,50	
Na (kW.h/m2.ano)	18,67	
Nac (kW.h/m2.ano)	3,29	
η^i	0,87	Art. 18.º - ponto 2
η^v	0,80	Art. 18.º - ponto 2
F_{pui} (kgep/kW.h)	0,086	Art. 18º - ponto 1
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,290	Art. 18º - ponto 1
F_{pua} (kgep/kW.h)	0,086	Art. 18º - ponto 1

Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}	1,205362012	(kgep/m^2.ano)
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t	3,371962971	(kgep/m^2.ano)

Ntc ≤ Nt? Verifica

0,357465969 **A**