



Vasco Filipe Carvalho Leão de Sousa

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Sistemas passivos na construção em Portugal: Análise de um caso de estudo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Rui Noel Alves Vera-Cruz, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Maria Paulina S. F. Faria Rodrigues

Arguente: Prof. Ana C. P. S. Cruz Lopes

Vogal: Prof. Rui N. A. Vera-Cruz



Novembro 2018

INDICAÇÃO DE DIREITOS DE CÓPIA

“*Copyright*” Vasco Filipe Carvalho Leão de Sousa, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro queria agradecer ao meu Orientador, Professor Rui Noel Alves Vera-Cruz pela disponibilidade concedida, apoio e conhecimentos transmitidos ao longo da presente dissertação.

Ao jornalista Jorge Van Krieken, pelos documentos bibliográficos fornecidos, dados do projeto estudado, desenhos e tempo fornecido para esclarecimento de todas as questões relacionadas com o caso prático.

A todos os colegas de curso que se tornaram amigos e que foram uma ajuda e motivação para que atingisse os meus objetivos.

A todos os meus amigos que me acompanharam ao longo do meu percurso académico, seria impossível mencionar cada um, mas sabem o quão importantes foram e são na minha vida.

À minha namorada, pela paciência, constante motivação e apoio incondicional.

RESUMO

O constante aumento de consumo energético nos edifícios devido ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, levou ao desenvolvimento e adoção de soluções que promove a eficiência energética e a sustentabilidade dos edifícios. Os sistemas passivos demonstraram ser uma solução viável para promover o conforto térmico do interior dos edifícios, através da absorção da radiação solar para o aquecimento e de técnicas de arrefecimento, evitando assim o uso de aparelhos de climatização ou de sistemas ativos.

Depois de uma revisão bibliográfica, passou-se ao estudo de um caso que se divide na análise térmica de três projetos de modo a verificar se a aplicação de sistemas passivos ajuda na redução do consumo energético dos edifícios. Usou-se uma folha de cálculo de Excel programada para o estudo térmico de edifícios.

O primeiro projeto estudado foi o caso de uma moradia antiga, onde se verificou que nenhum dos valores das necessidades energéticas estavam em conformidade com os valores de referência dos regulamentos atuais. De seguida analisou-se um projeto passivo, onde se incorporaram algumas soluções passivas que ajudaram a reduzir os consumos energéticos, demonstrando que estavam de acordo com os valores de referência. No entanto, à data do projeto ainda não estavam em vigor os decretos atuais e, por sua vez, haviam determinados fatores que não cumpriam os requisitos máximos, como o valor do U das paredes da instalação sanitária e o fator solar global de um envidraçado na mesma divisão. Com isso em mente, desenvolveu-se um terceiro projeto idêntico ao anterior, onde apenas se corrigiram estas inconformidades com os regulamentos atuais.

Apresentam-se os valores das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento dos três projetos, comparando-os entre si e justificando a razão dos mesmos.

Com o estudo, fica evidente que a aplicação de sistemas passivos na construção contribui para a melhoria do desempenho energético de edifícios, com a conseqüente poupança energética dos mesmos, resultando numa maior sustentabilidade.

Termos Chave: sistemas solares passivos, arrefecimento, aquecimento, vãos envidraçados, análise térmica, radiação solar, necessidades energéticas.

ABSTRACT

Due to the continuous increase of energetic consumption in buildings, related to the interior thermal environment, there's a need to develop solutions that promote energy efficiency and sustainability of this buildings. Passive system demonstrated in the past, that they can be a viable solution to ensure thermal comfort in buildings, through absorbing solar radiation and cooling technics, avoiding the need to use climate equipment or active systems.

After a bibliographical review, we proceeded to the case study that is divided in the thermal analysis of three projects in order to verify if the application of passive systems helps in the reduction of the energy consumption in buildings. A programmed Excel spreadsheet was used for the thermal study of all the buildings.

The first project studied was the case of an old dwelling, where it was verified that none of the values of the energy needs were in conformity with the reference values of the current regulations. After that, a passive project was analyzed, incorporating some passive solutions that helped to reduce energy consumption, showing that they agreed with the reference values. However, when the project was executed, the current decrees were not yet applied and there were certain factors that did not meet the maximum requirements, such as the U value of the walls of the sanitary installation and the overall solar factor of a glazing in the same division. With this in mind, a third project was developed similar to the previous one, where only these nonconformities were corrected with the current regulations.

The values of heating and cooling energy requirements of the three projects are presented, comparing them and justifying their reason.

With the case study, it's evident that the application of passive systems in buildings construction contributes to the improvement of the energy performance in buildings, saving energy, resulting in a greater sustainability.

Keywords: passive solar systems, heating, cooling, glazed spans, thermal analysis, solar radiation, energy needs.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE MATÉRIAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE ACRÓNIMOS	XVIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodologia e Estrutura do Trabalho	2
2. SISTEMAS PASSIVOS NA EDIFICAÇÃO	5
2.1. Enquadramento	5
2.2. O conceito passivo e a sua história	6
2.3. Energia solar e os edifícios	8
3. ESTADO DE ARTE	11
3.1. Consumo energético nos edifícios	11
3.2. Desenvolvimento Sustentável	13
3.3. Construção sustentável	15
3.3.1. Sistemas de avaliação da construção sustentável	19
3.3.2. Conceito e padrão Passivhaus	23
3.3.3. Conceito nZEB	26
3.4. Sistemas solares passivos	28
3.5. Sistemas passivos de aquecimento	29
3.5.1. Sistemas de ganho direto	30
3.5.2. Sistemas de ganho indireto	33
3.5.3. Sistemas de ganho isolado	38
3.6. Sistemas passivos de arrefecimento	43

3.6.1.	Sistemas de arrefecimento direto.....	43
3.6.2.	Sistemas de arrefecimento indireto	52
3.6.3.	Sistemas de arrefecimento isolado	53
3.7.	Aplicação dos sistemas solares passivos em Portugal.....	54
3.8.	Síntese de aplicação	62
4.	CASO DE ESTUDO	65
4.1.	Descrição dos projetos	65
4.2.	Localização dos projetos	66
4.3.	Caracterização Construtiva	67
4.3.1.	Projeto A – edifício antigo.....	68
4.3.2.	Projeto B - projeto passivo	69
4.3.3.	Projeto C - projeto passivo de acordo com o novo Decreto-Lei.....	70
4.4.	Análise Térmica	71
4.4.1.	Análise térmica do projeto A.....	71
4.4.2.	Análise térmica do projeto B.....	77
4.4.3.	Análise térmica ao Projeto C	83
4.4.4.	Análise comparativa	87
5.	CONCLUSÕES.....	89
5.1.	Conclusões finais.....	89
5.2.	Desenvolvimentos futuros	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	PÁGINAS WEB	97
	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Palácio de Cristal de J. Paxton na Grande Exposição de Londres de 1851	7
Figura 2.2: Distribuição da radiação solar média para Portugal Continental.....	9
Figura 3.1: Consumo final de energia por setor em 2014, na UE28.....	11
Figura 3.2: Consumo final de energia por setor, em Portugal, em 2015	12
Figura 3.3: Objetivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão.....	14
Figura 3.4: Impactes ambientais nas várias fases de um ciclo de vida de um edifício	19
Figura 3.5: Modelo genérico de uma ferramenta de suporte aplicada na construção sustentável	21
Figura 3.6: Sistema de análise do ciclo de vida de um edifício	22
Figura 3.7: Fachada sul do edifício Passivhaus Darmstadt, Kranichstein	23
Figura 3.8: Edifícios com padrões e certificação <i>Passivhaus</i> na Europa	24
Figura 3.9: Requisitos da construção <i>Passivhaus</i>	25
Figura 3.10: Conceito nZEB	27
Figura 3.11: Radiação solar incidente nas fachadas a sul (esquerda) e a nascente (direita) durante o verão.....	30
Figura 3.12: Radiação solar incidente nas fachadas durante o inverno	30
Figura 3.13: Sistema de ganho direto	31
Figura 3.14: Moradias em Sintra com sistema de ganho direto - Envidraçados orientados a sul.....	31
Figura 3.15: Envidraçados orientados a sul no edifício de serviços, ICP, no Porto	32
Figura 3.16: Esquema de funcionamento da parede de Trombe ventilada e não ventilada durante as várias estações.....	35
Figura 3.17: Esquema de funcionamento de uma parede de água durante o dia e durante a noite....	37
Figura 3.18: Esquema de funcionamento de cobertura de água de dia e de noite	38
Figura 3.19: Moradia unifamiliar com estufa, à esquerda em situação de inverno e à direita em situação de verão, com proteção de vegetação	39
Figura 3.20: Várias configurações de estufa.....	39
Figura 3.21: Esquema exemplificativo de processos de isolamento noturno (A e B) e desativação sazonal de uma estufa (C)	40
Figura 3.22: Funcionamento do coletor de ar no inverno e no verão	42
Figura 3.23: Esquema de funcionamento de sistema Barra-Constantini.....	42

Figura 3.24: Sombreamento com árvore de folha caduca no caso de verão e inverno	44
Figura 3.25: Exemplos de dispositivos de proteção solar de janelas	45
Figura 3.26: Esquema de proteção solar que funciona como isolamento térmico noturno no inverno e refrigerador no verão	45
Figura 3.27: Eficácia de diferentes elementos de sombreamento, em função da geometria do dispositivo, da orientação da fachada e do período do ano.....	46
Figura 3.28: Fluxo dos ventos com edifícios dispostos de forma linear (esquerda), a 45° da direção do vento (centro) e de maneira intercalada.....	47
Figura 3.29: Esquema de sistema de ventilação cruzada	48
Figura 3.30: Esquema do sistema com efeito de chaminé	48
Figura 3.31: Esquema do sistema de câmara solar na cobertura	49
Figura 3.32: Esquema de sistema de ventilação com aspirado estático	49
Figura 3.33: Esquema do sistema torre de vento	50
Figura 3.34: Entrada de tubos e orifícios no interior da casa Solar em Porto Santo do Arq.º Gunther Ludewig	51
Figura 3.35: Esquema de funcionamento do arrefecimento evaporativo	51
Figura 3.36: Esquema de funcionamento do arrefecimento radiativo durante o dia e à noite	53
Figura 3.37: Esquema de funcionamento do arrefecimento isolado por meio de tubagens.....	53
Figura 3.38: Zonas climáticas de Portugal Continental, de inverno (esquerda) e verão (direita)	54
Figura 3.39: Sequeiro do Minho	55
Figura 3.40: Casa típica alentejana, caiada de branco de modo a refletir a radiação solar	56
Figura 3.41: Casa Termicamente Otimizada, no Porto.....	56
Figura 3.42: Casa Solar Passiva de Vale Rosal	57
Figura 3.43: Corte representativo da conjugação da parede de trombe com a fuga da lareira na Casa Solar Passiva de Vale Rosal	58
Figura 3.44: Casa Schafer com a sua fachada principal e claraboia orientada a sul e as paredes de Trombe ventiladas	58
Figura 3.45: Esquema representativo da ventilação durante o verão na Casa Schafer	58
Figura 3.46: Edifício Torre Verde, Parque das Nações	59
Figura 3.47 Casas de Janas, com os seus envidraçados orientados a sul e exemplo de sombreamento	59
Figura 3.48: Habitação da Quinta Verde, Nafarros.....	60

Figura 3.49: Habitação passiva em Romeirão	60
Figura 3.50: Edifício Solar XXI e a sua fachada orientada a sul.....	61
Figura 3.51: Saídas de ventilação no interior das salas	61
Figura 4.1: Planta do piso 0 do projeto B e C	65
Figura 4.2: Mapa dos níveis NUTS II e NUTS III	66
Figura 4.3: Implantação do edifício no terreno.....	67
Figura 4.4: Comparação de valores Nic, Ni, Nvc e Nv entre os projetos estudados	87



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1: Fases e medidas de intervenção na construção	17
Tabela 3-2: Área de parede acumuladora em função da superfície do compartimento e das temperaturas médias exteriores na estação de aquecimento	36
Tabela 3-3: Critérios para a determinação da zona climática de inverno	55
Tabela 3-4: Critérios para a determinação da zona climática de verão.....	55
Tabela 3-5: Síntese de aplicação dos sistemas passivos de aquecimento.....	62
Tabela 3-6: Síntese de aplicação dos sistemas passivos de arrefecimento	63
Tabela 4-1: Caracterização do projeto A.....	72
Tabela 4-2: Coeficiente de transferência de calor por transmissão do projeto A	73
Tabela 4-3: Transferência de calor por transmissão.....	74
Tabela 4-4: Transferência de calor por renovação do ar	74
Tabela 4-5: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do projeto A	75
Tabela 4-6: Ganhos térmicos brutos do projeto A	76
Tabela 4-7: Fator de utilização de ganhos η_V do	76
Tabela 4-8: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do projeto A.....	76
Tabela 4-9: Caracterização do projeto B.....	78
Tabela 4-10: Coeficiente de transferência de calor por transmissão.....	79
Tabela 4-11: Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento	79
Tabela 4-12: Transferência de calor por renovação do ar	80
Tabela 4-13: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	81
Tabela 4-14: Ganhos térmicos brutos	81
Tabela 4-15: Fator de utilização de ganhos	82
Tabela 4-16: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	82
Tabela 4-17: Caracterização da fração do projeto C	83
Tabela 4-18: Coeficiente de transferência de calor por transmissão.....	84
Tabela 4-19: Transferência de calor por renovação do ar	85
Tabela 4-20: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	85
Tabela 4-21: Ganhos térmicos brutos	86
Tabela 4-22: Fator de utilização de ganhos	86

Tabela 4-23: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento 86

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADENE - Agência para a Energia

Ap – Área útil de pavimento [m²]

Aext – Área da envolvente exterior [m²]

Aenv – Área de envidraçados [m²]

AQS – Água quente sanitária

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

B – Comprimento [m]

DGE - Direção Geral de Engenharia

EPS - Poliestireno expandido

FS - Fator solar

GD - Graus dia

GSul – Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul [kWh/(m².mês)]

gi – Fator solar de Inverno

gv – Fator solar de Verão

gT – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar ativos

gTp – Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanente existente

gTvc – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar permanente, ou móvel totalmente ativado

gTmáx – Limite máximo admitido para os fatores solares de vãos envidraçados

g[⊥] – Fator solar do vão envidraçado

Hecs – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o solo [W/°C]

Henu – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não-úteis [W/°C]

Htr – Coeficiente de transferência de calor de elementos da envolvente em contato com o exterior [W/°C]

Hext - coeficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior [W/°C]

Ht,v - coeficiente de transferência de calor por ventilação [W/°C]

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ITE - Informação Técnica Edifícios

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

M – Duração da estação de aquecimento [meses]

Ni – Valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m².ano)]

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

Nv – Valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m².ano)]

Nvc - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m².ano)]

Ntc - Necessidades nominais anuais globais de energia primária [kWhEP/(m².ano)]

Nt – Valor máximo admissível de energia primária [kWhEP/(m².ano)]

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

nZEB - Net Zero Energy Building

ONU – Organização das Nações Unidas

PIB – Produto Interno Bruto

PHPP – Passive House Planning Package

Pd – Pé-direito [m]

Qgu – Ganhos de calor úteis [kWh]

Qext – Transferência de calor através da envolvente em contato com o exterior [kWh]

Qi – Ganhos térmicos internos [kWh]

Qs – Ganhos solares térmicos [kWh]

Qsol,v - Ganhos Solares brutos [kWh/ano]

Qg – Ganhos térmicos brutos [kWh]

Qtr – Transferência de calor por transmissão [kWh/ano]

Qve – Transferência de calor por renovação do ar [kWh/ano]

R – Resistência térmica [(m².°C)/W]

Rph – Taxa de renovação de ar [h⁻¹]

REH - Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

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

Umáx - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para vãos opacos [W/(m².°C)]

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

Uw - Coeficientes de transmissão térmica superficiais para os vãos envidraçados [W/(m².°C)]

Uwdn - Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado [W/(m².°C)]

Xj – Fator de orientação

ZEB – Zero energy building

α – Ângulo do horizonte [°]

β – Ângulo de obstrução [°]

η_i – Eficiência do sistema de aquecimento ambiente

η_v – Eficiência do sistema de arrefecimento ambiente

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear

θ_i – Temperatura interior [°C]

θ_e – Temperatura exterior [°C]

λ – Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]

ΔT – Variação da Temperatura [°C]

η – Fator de utilização dos ganhos térmicos

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do Tema

Um dos principais desafios que hoje se enfrenta é a falta de sustentabilidade no meio urbano e, apesar de a sociedade estar muito mais consciencializada ecologicamente, o consumo energético continua a aumentar prevendo-se que duplique até 2030. Isto devido ao aumento do nível de vida das populações, do desenvolvimento tecnológico que tem existido e claro, às exigências de conforto por parte dos habitantes. Foram criados vários protocolos com o intuito de obrigar os países incluídos a reduzir as emissões de gases com efeito estufa, como foi o caso do Protocolo de Quioto e o ainda em vigor “Pacote Clima-Energia: três vintes até 2020”, onde se pretende reduzir 20% das emissões de gases face aos valores de 1990, reduzir 20% o consumo energético e aumentar para 20% o consumo de energias renováveis (em 2005 a quota renovável era de 8,5%), tudo até 2020 (Parlamento Europeu, 2008).

O consumo de recursos não renováveis no setor da construção tem um grande impacto no meio ambiente, assim como o elevado consumo de energia durante as várias fases de construção de um edifício e da utilização do mesmo. Em Portugal os edifícios são responsáveis por 30% da energia primária e 62% dos consumos de energia de eletricidade (EAPA, 2015); logo, com o intuito de minimizar os efeitos negativos que esse consumo energético acarreta, é de grande interesse a contribuição dos sistemas passivos na redução dos gastos energéticos, procurando-se, assim, construir de uma maneira sustentável.

Esta temática e esta preocupação não é recente, pois já existem diversos edifícios antigos onde foram aplicados sistemas solares passivos. No entanto, sem grande adesão, sendo praticamente esquecidos e voltando nos últimos anos a ganhar mais importância devido à consciência ecológica da sociedade e a preocupação com a produção de CO₂. Ultimamente tem-se verificado uma maior aplicação de sistemas de ganho direto, nomeadamente com a preocupação de uma correta orientação do edifício e com o tipo de envidraçados aplicados. Apesar dessa preocupação, ainda existem vários erros relacionados com a sua aplicação, muito devido há falta de informação relativa ao seu desempenho energético. Quando se fala nos sistemas de ganho indireto, este problema acentua-se, pois, existe uma quantidade reduzida de projetos de edifícios onde se aplicaram estes sistemas, havendo uma falta de desenvolvimento dos processos de cálculo utilizados na fase de projeto (Dragičević e Lambić, 2009).

1.2. Objetivos

No panorama atual, onde se verifica um elevado consumo energético dos edifícios, a eficiência energética ganha uma elevada importância no setor da construção. Assim, a presente dissertação tem como principal objetivo analisar alguns sistemas solares passivos existentes que podem ser aplicados na construção de edifícios de modo a ajudar na redução do consumo de energia pelos mesmos.

Pretende-se com a escolha de um caso de estudo, efetuar uma crítica à integração destes sistemas, verificando se existe uma melhoria térmica do ambiente interior. Após a pesquisa bibliográfica e o referido caso de estudo, pretende-se concluir se estes sistemas são uma boa solução construtiva para se atingir o objetivo de uma construção sustentável em Portugal.

1.3. Metodologia e Estrutura do Trabalho

Começou-se por fazer uma breve introdução do tema, enquadrando-o nos dias de hoje. Por se analisar a história da aplicação de sistemas solares passivos na construção pretende-se demonstrar a preocupação que já existia antigamente com os ganhos térmicos nos edifícios.

De seguida efetuou-se uma revisão bibliográfica, de modo a se obter o conhecimento necessário sobre a temática, estudando todos os casos passivos, servindo de base para o caso de estudo.

Quanto ao caso de estudo, fez-se uma análise térmica a três projetos: o primeiro corresponde a um edifício antigo, sem soluções passivas aplicadas. No segundo foram introduzidas estratégias passivas, no entanto, à data da execução deste projeto, ainda não estavam em vigor os regulamentos e decretos atuais. Finalmente, no terceiro projeto fizeram-se as alterações necessárias nas soluções passivas de modo a que estivessem em conformidade com os requisitos limite desses regulamentos.

No final analisaram-se os valores das necessidades nominais de energia de cada projeto, comparando-os, concluindo que com a inclusão dos sistemas passivos é possível reduzir as necessidades energéticas dos edifícios.

O presente trabalho encontra-se organizado em 5 capítulos, sendo este primeiro o enquadramento do tema, os principais objetivos e a metodologia utilizada.

O segundo capítulo é constituído por pesquisa bibliográfica, explicando o conceito passivo e referindo a história da aplicação de sistemas passivos na construção.

No capítulo três efetua-se um desenvolvimento do tema, abordando mais a fundo a questão da sustentabilidade, tão importante nos dias de hoje, e a sua aplicação na construção. Fala-se ainda da questão da construção sustentável e dos progressos vividos presentemente. Os vários sistemas passivos existentes, tanto os de aquecimento como os de arrefecimento, são apresentados neste capítulo assim como a sua evolução e aplicação em Portugal.

No quarto capítulo apresenta-se um caso de estudo no território nacional, analisando-se dois projetos onde foram aplicados alguns dos sistemas passivos comparando com um projeto em que não se tenha

aplicado nenhuma dessas soluções, realizando-se uma análise térmica de modo a obter respostas sobre as necessidades energéticas necessárias para cada caso.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões da dissertação, tiradas do caso de estudo e da pesquisa bibliográfica efetuada, assim como alguns desenvolvimentos futuros para a presente dissertação.

2. SISTEMAS PASSIVOS NA EDIFICAÇÃO

2.1. Enquadramento

De todos os sectores de atividade da nossa sociedade, o sector da construção acarreta alguma responsabilidade no que diz respeito ao impacte ambiental, sendo alguns desses impactes a produção de resíduos, o consumo de energia, emissões CO₂ e consumo de recursos naturais (Rocheta e Farinha, 2007).

Devido ao aumento da qualidade de vida da população nos últimos anos e à contínua procura por um maior conforto térmico nas suas habitações, tem-se verificado um aumento do consumo energético dos edifícios, tanto em Portugal como no resto da Europa. Em Portugal, mais de 20% da energia elétrica consumida diz respeito ao consumo doméstico nos edifícios, estando isso na base das emissões de CO₂ e outros poluentes que afetam negativamente o ambiente. Grande parte desta energia consumida refere-se aos sistemas de climatização que são aplicados no interior dos edifícios para lhes proporcionar conforto (Rocheta e Farinha, 2007).

Posto isto, as Nações Unidas incentivaram, todos os Governos a nível mundial, a assumirem as suas responsabilidades. A União Europeia instou os Estados-Membros a adotarem medidas com vista a obtenção de uma poupança energética de 20% relativamente aos níveis de consumo atuais (Rocheta e Farinha, 2007).

Visto ser o setor da construção um dos principais responsáveis pela exploração de recursos naturais e do consumo de energia, tornou-se fulcral que se opte por soluções que possam contribuir para uma utilização mais eficiente dos edifícios, reduzindo o consumo de energia. Isso poderá ser obtido através da introdução de soluções que permitam melhorar o seu desempenho energético (Gonçalves e Graça, 2004).

Essas soluções englobam os sistemas passivos, visto serem tecnologias construtivas integradas nos edifícios, em que as trocas de energia térmica se fazem por meios naturais e que, ao serem dimensionados corretamente podem reduzir significativamente os gastos energéticos nos edifícios. O principal objetivo e função destes sistemas é contribuir para o arrefecimento ou aquecimento natural do edifício, denominando-se sistemas de arrefecimento ou aquecimento passivos (Gonçalves e Graça, 2004).

Esta preocupação com o conforto térmico nos edifícios não é recente. Já na antiguidade se verificava essa preocupação na escolha das cores dos edifícios, na capacidade de transferência de calor dos materiais escolhidos e no aproveitamento da inércia das paredes (Mendonça, 2005).

No entanto, com a evolução do setor da construção e com a uniformização das soluções construtivas a nível nacional, tem-se verificado uma perda gradual das especificidades construtivas que caracterizavam as diferentes regiões do país. Apesar de já se verificar um aumento, da atualidade, na preocupação com a construção sustentável e com soluções que possam reduzir o consumo de energia, a aplicação de sistemas passivos é, ainda, bastante reduzida no território português, recaindo-se essencialmente em sistemas passivos de ganho direto como a orientação dos vãos envidraçados a sul, ou na adoção de vidros duplos/triplos e proteções exteriores (Mendonça, 2005).

Quanto aos sistemas passivos de ganho indireto surgem alguns exemplos onde se aproveitam as características dos materiais, como as paredes de trombe e as paredes de água.

2.2. O conceito passivo e a sua história

Na Europa as pessoas passam grande parte do seu tempo no interior de edifícios logo, se não existir uma boa gestão energética, irá haver um maior gasto de energia em climatização. Torna-se, então, essencial o uso de sistemas passivos, visto tratar-se de tecnologias construtivas que são integradas nos edifícios, tirando proveito dos seus elementos estruturais, com o objetivo de fornecer o aquecimento ou o arrefecimento necessário diretamente, indiretamente ou de modo isolado, através de meios naturais de convecção, radiação e condução (Rocheta e Farinha, 2007).

Os sistemas passivos não utilizam dispositivos mecânicos para climatização, ao contrário dos sistemas solares ativos. Desse modo, torna-se o edifício mais sustentável e energeticamente eficiente, ao se reduzir as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento, sem custos de construção adicionais significativos (Mendonça, 2005).

Não se pode ignorar que uma parte da responsabilidade em não desperdiçar energia pertence aos ocupantes do edifício, mas sem dúvida que é uma obrigação dos projetistas que o conceberam, dotá-lo do maior número possível de qualidades que permitam a gestão da energia de forma mais racional (Gonçalves e Graça, 2004).

Um projeto “passivo” puro não leva em conta sistemas ativos. No entanto, é apropriado considerar a incorporação de sistemas elétricos e mecânicos para que os elementos passivos desempenhem as suas funções com melhor eficiência. A abordagem a este conceito pode ser interpretada de forma diferente por diferentes pessoas em diferentes locais e climas, mas sempre com o mesmo objetivo: minimizar o consumo de energia fóssil para as necessidades de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação.

Como já referido, estes sistemas passivos de arrefecimento e aquecimento baseiam-se na exploração de recursos naturais. Grande parte da investigação feita sobre a temática foi efetuada nos Estados Unidos, nos anos setenta e continuada na Europa durante os anos oitenta. No entanto, egípcios, gregos, persas e indianos já utilizavam este conceito de utilizar o Sol e a sua orientação de forma a conseguir energia solar no inverno e evitar ganhos solares no verão. Contudo, não dispunham de vidro, estando privados de um dos mais valiosos recursos para a obtenção de ganhos solares passivos.

Durante a idade média não existiu grande evolução, a não ser apenas no que diz respeito a iluminação natural das catedrais Góticas. Leone Battista Alberti referiu: “A proveitosa prática dos anciãos deverá ser empregue nos edifícios, para que estes deixem entrar o sol de Inverno, e os sombreiem de verão”, demonstrando a importância que já se dava ao Sol como fonte de conforto térmico para as habitações (Mendonça, 2005).

A partir do século XVII, principalmente em Inglaterra e na Holanda, gerou-se uma sensibilidade para uma melhor orientação solar na construção de jardins interiores, alpendres, pátios e estufas, que seria a Sul. No início do século XIX, os projetistas de estufas usavam uma combinação de vidro duplo, orientação, massa térmica, sistemas de sombreamento e isolamento. Um exemplo disso é o Palácio de Cristal da Grande Exposição de Londres, de 1851, desenhado por J. C. Loudon, observado na Figura 2.1, inaugurando uma era de grandes pavilhões e átrios envidraçados urbanos na Europa. No Porto foi também construído um Palácio de Cristal, desenhado por F. W. Shields, sendo mais tarde demolido na década de 1950 (Mendonça, 2005).

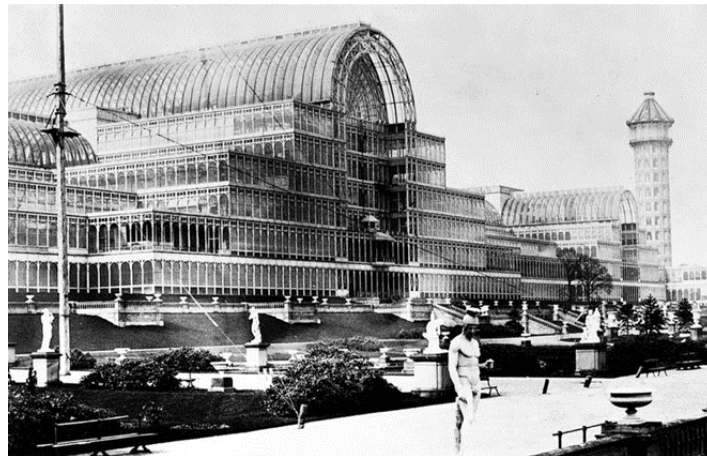


Figura 2.1: Palácio de Cristal de J. Paxton na Grande Exposição de Londres de 1851 (Publico, 2013)

Em 1881, E. L. Morse, desenvolveu e patenteou o conceito de uma parede maciça negra, uma caixa-de-ar, um envidraçado e aberturas por onde o fluxo de ar pudesse ser regulado. Seria mais tarde desenvolvido por Félix Trombe e Jacques Michel, em 1957, originando o sistema passivo de aquecimento de ganho indireto “Parede de Trombe” (Mendonça, 2005).

Nos finais dos anos 30, começou-se a dar mais importância ao vidro e outros materiais transparentes e translúcidos visto serem elementos essenciais para a aplicação, com sucesso, da maior parte dos sistemas de aquecimento solar passivo e passou-se a introduzir estas tecnologias passivas nos edifícios residenciais. Os irmãos Keck, de Chicago, ficaram conhecidos pelo projeto de uma casa solar que utilizava componentes pré-fabricados das casas “Green’s Ready Built” que tinham grandes áreas de envidraçados orientadas a sul de modo a conseguir os ganhos solares na estação de aquecimento, possuindo palas para proteção da radiação solar na estação de arrefecimento. Essas habitações possuíam coberturas planas com o propósito de serem cobertas por água para que se minimizasse os

ganhos solares. No entanto, não tinha a capacidade de absorver o calor interior e arrefecer a habitação durante a noite (Mendonça, 2005).

Depois da 2ª Guerra Mundial, começou a haver um maior interesse pelos sistemas passivos de aquecimento, tanto nos Estados Unidos como na Europa. Na altura, a pesquisa era mais direcionada para os sistemas ativos, mas o trabalho sobre envidraçados levado a cabo no laboratório ASHRAE, em Cleveland, abriu portas para procedimentos de cálculo de ganhos solares através dos envidraçados (Mendonça, 2005).

Portanto, verifica-se que há mais de 2000 anos existem preocupações bioclimáticas e têm-se mantendo, se bem que, por vezes, apenas de forma empírica, nas construções tradicionais de cada país. No entanto, com o surgimento de sistemas mecânicos de controlo ambiental, foi-se esquecendo e deixando de parte a importância das questões ambientais. Ou seja, o que deveria ajudar à melhoria do conforto veio, pelo contrário, permitir uma maior liberdade aos projetistas que tornam os edifícios extremamente dependentes de fontes de energia não renovável.

As condições de conforto de um edifício não podem depender apenas de cuidados suavizadores, “aplicando” nos edifícios tecnologias passivas ou recorrendo a sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. O edifício com a sua arquitetura e com os seus sistemas passivos e ativos tem de ser visto como um sistema energético orgânico. Não pode haver uma construção sustentável sem uma coordenação entre os aspetos criativos e técnicos.

2.3. Energia solar e os edifícios

Os elementos climáticos que mais influenciam a transferência de calor nos edifícios são a radiação solar e a temperatura do ar exterior. Relativamente à temperatura do ar, esta intervém na envolvente do edifício, provocando trocas de calor e fluxos energéticos do interior para o exterior, resultando em perdas térmicas, geralmente durante o inverno. São essas perdas térmicas que fazem com que as temperaturas interiores num edifício diminuam, tornando-se um ponto fundamental a ter em atenção na elaboração de um projeto pois a redução dessas perdas corresponde a um ambiente interior mais confortável. Por sua vez, durante o verão o fluxo inverte-se quando a temperatura exterior é superior à interior, convertendo-se em ganhos térmicos. Isso ocorre em determinadas horas do dia, devido a radiação solar incidente. No entanto, em Portugal, a temperatura média exterior é inferior à temperatura que se encontra no interior dos edifícios, o que faz com que ocorra mais perdas que ganhos térmicos por transmissão através da envolvente opaca (Gonçalves e Graça, 2004).

Quanto à radiação solar, fator climático de extrema importância, é uma variável essencial para o conforto térmico de qualquer edifício. No inverno representa uma fonte de calor e energia muito significativa uma vez que contribui para o aumento da temperatura interior. No sentido oposto, durante o verão, corresponde a uma fonte de calor a evitar para que se impeça o aumento da temperatura interior nos edifícios e, por consequência, a ausência de conforto térmico interior (Gonçalves e Graça, 2004).

Os menores valores de radiação solar ocorrem na região noroeste de Portugal, especificamente no Parque Nacional da Peneda-Gerês, onde o valor de radiação média anual é inferior a 1600 kWh/m². As zonas do país com os valores mais elevados são o Sudeste e o Sul, devido ao elevado número de horas de sol, destacando-se a bacia do Guadiana e a orla Algarvia, onde a radiação recebida é superior a 1900 kWh/m². É possível verificar na Figura 2.2 que a radiação solar em Portugal Continental é superior no Sul e no Interior, tornando-se gradualmente menor no Norte e no Litoral (Cavaco, 2016).

Assim, torna-se importante compreender a influência que o Sol, como fonte de calor, tem nos edifícios, seja em termos energéticos, seja em termos de posicionamento destes, de modo a se conseguir tirar o máximo proveito e benefícios dessa fonte de energia.

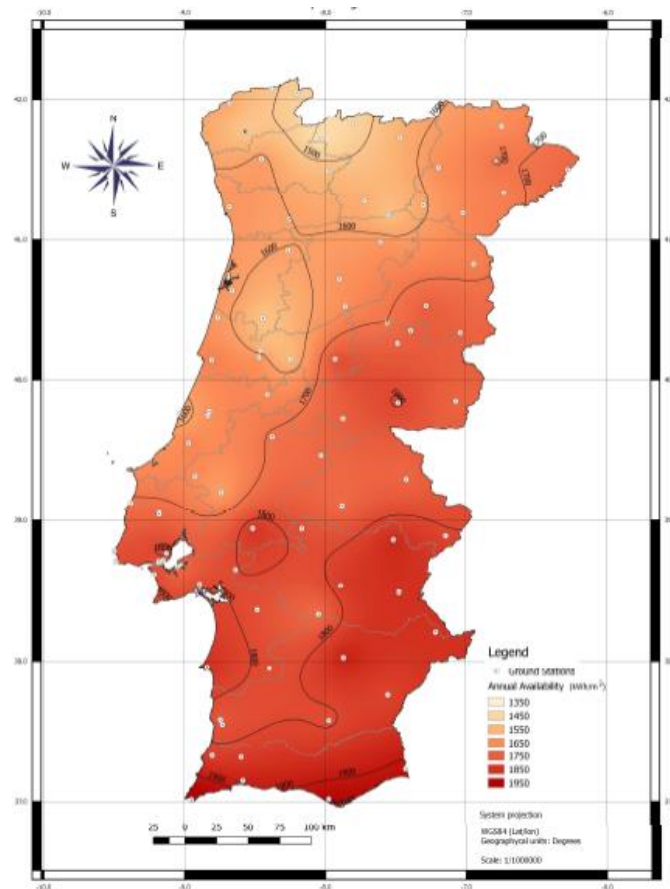


Figura 2.2: Distribuição da radiação solar média para Portugal Continental (Miranda, 2006)



3. ESTADO DE ARTE

3.1. Consumo energético nos edifícios

Segundo o Balanço Energético Nacional disponível mais recente (2017), o setor dos edifícios domésticos e de serviços representa a maior fatia dos consumos energéticos, com cerca de 38,5% do consumo final de energia no conjunto dos 28 países da União Europeia, como está representado na Figura 3.1 (European Commission, 2017).

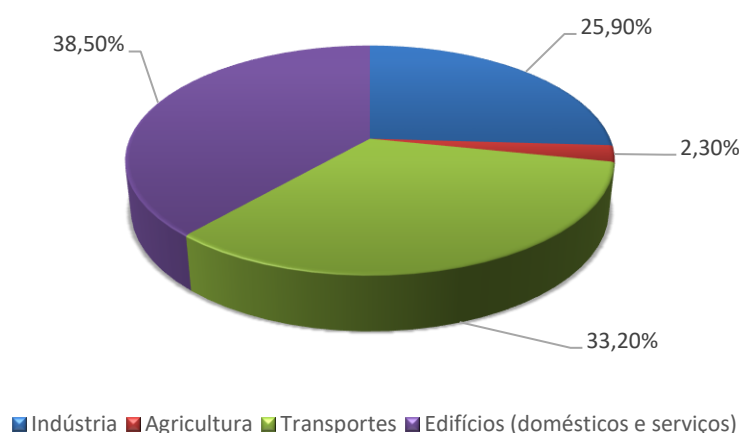


Figura 3.1: Consumo final de energia por setor em 2014, na UE28 [baseado em (European Commission, 2017)]

No sector dos edifícios, que se divide em edifícios domésticos e de serviços, verifica-se que os domésticos representam 61% da totalidade do consumo energético (European Commission, 2017). Este consumo esteve sempre em crescimento durante a década de 1990 e de 2000, com um crescimento médio de 0,8% ao ano. Deste consumo, o que está associado ao arrefecimento teve um aumento de 5,1% entre o 2000 e 2010, o que se justifica com um desejo de conforto que está diretamente relacionado com o aumento da qualidade de vida e por sua vez com uma maior procura de aparelhos de arrefecimento, o que não acontecia anteriormente. Por sua vez, quanto ao consumo relacionado com o aquecimento, relativamente ao aquecimento do ambiente interior do edifício habitacional houve um crescimento de 2,5%, enquanto que para aquecimento das águas sanitárias, esse crescimento de consumo foi de 4,3% (European Commission, 2014).

No entanto, esse consumo energético em edifícios domésticos tem vindo a decrescer cerca de 0,5% ao ano desde 2010 e está previsto que se mantenha até 2020, abrandando a diminuição de consumo para 0,3% entre 2020 e 2030. Este decréscimo de consumo energético está relacionado com uma maior preocupação ambiental por parte das pessoas e governos, e com a criação de vários protocolos e programas que visam a redução da emissão de gases que agravam o efeito estufa, como foi o caso

do Protocolo de Quioto. Contudo estima-se que o consumo energético em edifícios domésticos volte a aumentar entre 2030 e 2050 (European Commission, 2014).

Relativamente a Portugal, o consumo de energia dos edifícios é inferior e representa cerca de 29% do total. Na Figura 3.2 está representado o consumo de energia por setor em Portugal, baseado no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética de 30 de abril de 2017 (Portuguesa, 2017).

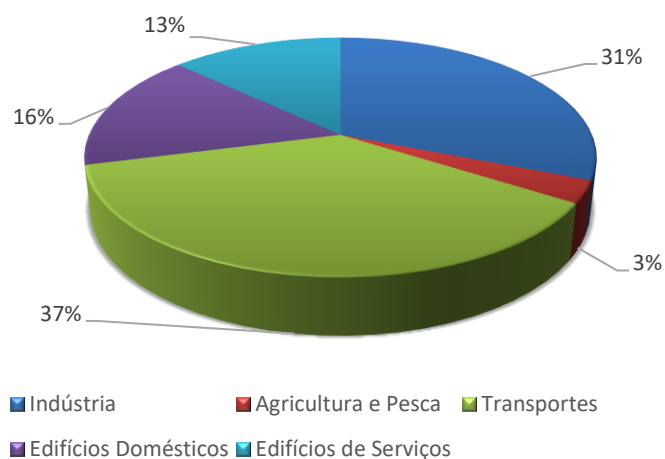


Figura 3.2: Consumo final de energia por setor, em Portugal, em 2015 [baseado em (Portuguesa, 2017)]

O aumento do nível de vida em geral das famílias portuguesas está diretamente relacionado com o crescimento acentuado dos consumos energéticos e por sua vez ao aumento das emissões de CO₂ para atmosfera. Isto devido ao aumento das exigências de conforto por parte dos agregados familiares e pelo elevado número de edifícios que foram surgindo, principalmente entre 1991 e 2009, ano em que se verificou uma atenuação na construção devido ao abrandamento da economia a partir de 2008, perfazendo um total de 3,6 milhões de edifícios em 2009 (pordata, 2017).

A nível doméstico, verificou-se uma diminuição do consumo de energia elétrica por consumidor desde 2010, altura em que se obteve valores médios de 2665 kWh. A nível nacional, esse foi o valor mais alto de sempre, comparativamente com 2015, onde se atingiu valores médios de 2228 kWh (pordata, 2017).

Relativamente ao consumo dos produtos energéticos em 2015, no caso de produtos derivados de carvão, de petróleo e de gás natural, aumentou comparativamente com o ano de 2014. Por outro lado, o consumo de energias renováveis diminuiu, energias estas que são essencialmente utilizadas no setor da Indústria e nos edifícios domésticos. Por exemplo, em 2015, cerca de 15,7% dos agregados privados já tinham nas suas habitações ar condicionado, valor este que tem aumentado exponencialmente desde o ano 2000, onde apenas 2,8% usufruía deste aparelho (pordata, 2017a). Este crescimento tem-se verificado não só em Portugal, mas também na maior parte dos países desenvolvidos o que tem justificado a preocupação com o ambiente, uma vez que acabou por comprometer o cumprimento das metas do Protocolo de Quioto, onde quase nenhum país apresentou a meta ratificada, apesar de a nível nacional se ter cumprido o objetivo e ter-se ficado abaixo da meta a que se tinha proposto. Posto

isso, em 2015, foi aprovado o Acordo de Paris, que visa a redução da emissão de dióxido de carbono a partir de 2020 (UNFCCC, 2015).

Logo, se não houver uma aplicação de regras ou normas que promovam a utilização racional de energia de forma mais rigorosa e uma introdução de novas tecnologias na construção de edifícios, os níveis de conforto térmico tenderão a ser atingidos com recurso a sistemas de climatização, que por sua vez fará aumentar os consumos energéticos no setor. Torna-se essencial exigir o cumprimento dos requisitos mínimos de eficiência energética por parte dos edifícios e a aplicação de sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento pode contribuir consideravelmente para a redução dos consumos energéticos.

3.2. Desenvolvimento Sustentável

Desde a década de 1970 que o conceito de sustentabilidade se tem vindo a transformar e a ser-lhe dado a devida importância, muito por causa do aumento das preocupações com os recursos naturais e à forma como estes são aplicados na sociedade e na construção. Surge assim em 1987 o conceito de Desenvolvimento Sustentável, através do Relatório de Brundtland, onde indica o interesse num desenvolvimento que satisfizesse as necessidades do momento sem prejudicar que as gerações futuras pudessem satisfazer também as necessidades delas. Ou seja, propôs-se uma demanda pelo equilíbrio entre o nível de desenvolvimento e a utilização de recursos naturais para que o meio ambiente não fosse prejudicado e não ocorresse o esgotamento das fontes desses recursos naturais. O objetivo do Relatório de Brundtland era o de alertar para um conjunto de problemas em ascensão, baseando-se em convicções e princípios como a necessidade de se preservar os recursos existentes e a necessidade de idealizar o rumo da sociedade. Apesar deste objetivo, não foram indicadas ações a serem tomadas pelos estados, nem metas internacionais para o cumprimento do objetivo do desenvolvimento sustentável (Brundtland, 1987).

Foi apenas em 1992, no Rio de Janeiro, que ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, cimeira que originou a elaboração da Agenda 21, que estabelecia as ações que deveriam ser tomadas relativamente a problemas socio-ambientais, tanto local como globalmente, fosse pelos governos, empresas ou outros setores da sociedade. Foram definidos princípios que ajudavam os países a elaborar e implementar um plano estratégico a longo prazo, ficando cada país com a autoridade de criar as próprias diretrizes para o seu Desenvolvimento Sustentável (Bourdeau, 1999). Foi o primeiro passo para mudar mentalidades e concluir que o desenvolvimento sustentável não está apenas relacionado com preocupações ambientais, mas também com fatores económicos e sociais (United Nations, 2015).

Desde então que a Agenda 21 tem sido revista e adaptada em algumas conferências como a que aconteceu em 1997, em Nova Iorque, chamada Rio+5 e mais tarde, no ano 2000 na sede da ONU, onde foram prioridade temas como as políticas de globalização e a erradicação da pobreza e da fome. Em 2002, na África do Sul, ocorreu a “Cimeira da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável”, onde se

ratificaram os compromissos da Agenda 21 sobre o Desenvolvimento Sustentável ambiental, social e econômico (United Nations, 2015).

Dez anos depois, em 2012, ocorreu uma conferência novamente no Rio de Janeiro, intitulada Rio +20, com o intuito de renovar os compromissos políticos com o Desenvolvimento Sustentável efetuados anteriormente, onde os Estados presentes propuseram mudanças no modo de uso dos recursos naturais do planeta. Por fim, em setembro de 2015, aconteceu em Nova Iorque uma conferência onde foi estabelecida a Agenda 2030 com 17 objetivos e 169 metas a serem cumpridas até 2030. Foi a primeira vez que os líderes mundiais se comprometeram a uma ação comum por meio de uma agenda tão extensiva e universal (United Nations, 2015).

O conceito de Desenvolvimento Sustentável objetiva a minimização dos impactos ambientais da intervenção do Homem na natureza, procurando despertar a preocupação pela redução do consumo de recursos e da produção de resíduos de modo a que esse consumo ocorra a uma taxa capaz de ser renovada, assim como preservar a biodiversidade dos sistemas naturais. O interesse contínuo em satisfazer as necessidades humanas, sem afetar as próximas gerações, tem consequências na forma como são usados esses recursos presentemente. A capacidade regenerativa do planeta está a ser excedida tornando imperativo a ponderação correta dos recursos naturais nas mais diversas atividades humanas, quer seja nas atividades primárias, como na alimentação, seja no desenvolvimento tecnológico, uma vez que todas as atividades humanas têm impacto no meio ambiente. Mas também é obrigatório que os hábitos e comportamentos da sociedade sejam alterados visto ser devido à ação humana que a grande parte dos problemas ambientais existem. Logo é urgente considerar os aspectos sociais que integram o bem-estar individual, as relações interpessoais e as diferentes culturas quando se definem estratégias de Desenvolvimento Sustentável (United Nations, 2015).

A economia, por sua vez, é um aspecto a ter em consideração nestes processos devido a sua importância, visto ser essencial a aplicação de políticas de desenvolvimento econômico sustentável na busca de soluções que conduzam à prevenção e resolução de problemas ambientais (United Nations, 2015).

Assim sendo, o Desenvolvimento Sustentável apresenta três dimensões: econômica, social e ambiental. Na Figura 3.3 explicita-se os objetivos de sustentabilidade a serem atingidos por cada uma dessas áreas.

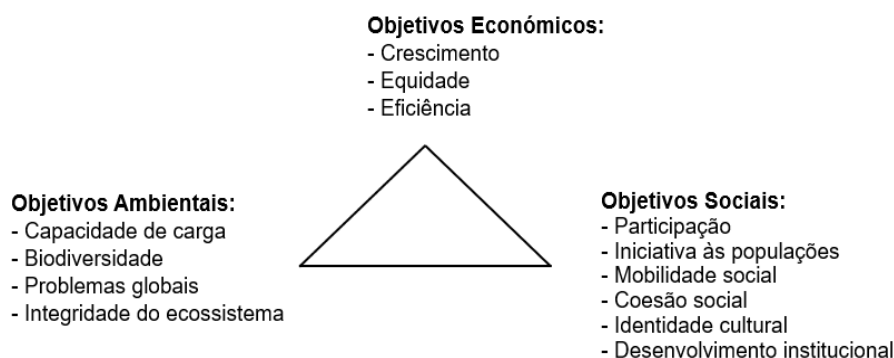


Figura 3.3: Objetivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão, baseado em (United Nations, 2015)

A interligação da construção com as três dimensões da sustentabilidade é importante, uma vez que esta indústria representa uma parcela elevada do PIB (dimensão económica), gera uma grande quantidade de postos de trabalho (dimensão social) e utiliza recursos naturais (dimensão ambiental), para além de estar diretamente ligada ao meio ambiente devido a algumas das suas intervenções como é o caso de barragens, redes rodoviárias e ferroviárias, edifícios etc.

3.3. Construção sustentável

O conceito de construção sustentável advém do conceito de Desenvolvimento Sustentável. Atualmente o setor da construção é o setor económico que consome mais recursos naturais devido ao elevado número de edifícios novos construídos todos os anos (poucos estão em condições de serem classificados como “edifícios verdes”), apresentando um elevado grau de insustentabilidade, havendo assim a necessidade de se praticar uma construção sustentável tornando as cidades e os edifícios mais eficientes (Lucas e Amado, sem data).

Ao longo dos anos tem-se notado uma tendência para o aumento do consumo de energia e água devido ao ambiente construído e devido à busca contínua por uma melhor qualidade de vida e de conforto da sociedade. Outra razão para o excessivo consumo de recursos é a falta de qualidade dos edifícios de habitação construídos, visto não respeitarem as necessidades ao nível de conforto acústico e térmico, ventilação e qualidade do ar interior que os seus utilizadores exigem. Outro fator importante é a ainda escassa utilização de materiais sustentáveis, recicláveis e reutilizáveis, de origem local e natural, o que conduz a um excessivo consumo de recursos materiais no setor da construção (Lucas e Amado, sem data).

Logo, a construção sustentável é a solução do setor da construção civil à necessidade de sustentabilidade do planeta. É preciso que haja uma alteração no processo de construção, introduzindo-se novas práticas e soluções sustentáveis, mas que sejam economicamente aceitáveis e acessíveis. Assim sendo, é fundamental que se apliquem os princípios do Desenvolvimento Sustentável em todas as fases do processo de construção, seja na extração, transformação e transporte das matérias-primas, seja no projeto, construção, utilização e manutenção dos edifícios e infra-estruturas, passando pela gestão de resíduos e desconstrução final da vida útil dos edifícios (Sousa e Amado, 2013).

A consciencialização para esta temática de se construir de um modo sustentável não é recente. Ocorreram certos acontecimentos na história que levaram a essa perceção como o lançamento do documento Green Building em 1970, com a procura por novos tipos de recursos energéticos devido à crise do petróleo na década de 1970, com o surgimento em 1980 da Avaliação Ambiental de Edifícios e com o relatório de Brundtland, já referido anteriormente (Sousa e Amado, 2013). Em 1994, durante a Primeira Conferência Internacional sobre a Construção Sustentável, foi definido pelo professor Charles Kibert o conceito de construção sustentável como sendo a criação e manutenção de um ambiente construído saudável, sendo eficiente nos recursos utilizados (solo, materiais, água e energia) e

baseando o projeto em princípios ecológicos. Estabeleceu alguns princípios para a construção sustentável como (Kibert, 1994):

- Minimizar o consumo de recursos
- Maximizar a reutilização de recursos
- Utilização de recursos recicláveis e reciclagem de materiais em fim de vida
- Proteção da natureza
- Eliminação de materiais tóxicos
- Aplicação de análises de ciclo de vida em termos económicos
- Realce na qualidade do ambiente construído

Estes princípios fortalecem a relação da sociedade com a natureza, desenvolvendo estratégias e processos para pôr em prática o conceito de construção sustentável, preservando a natureza.

Dois anos depois, em 1996, na conferência da ONU em Istambul, foi elaborada a Agenda Habitat II, que promovia que todas as pessoas deveriam ter acesso à habitação, com boa qualidade de vida relativamente aos fatores económicos, sociais, ambientais e culturais. Quanto aos objetivos da Agenda em relação à construção passam por adotar e promover políticas por parte dos governos e do setor da construção relativamente à produção de materiais e às diferentes fases de uma obra (planeamento, conceção, construção, manutenção e reabilitação). Promove também o desenvolvimento local, seja através de métodos de construção ou de tecnologias disponíveis localmente (United Nations, 1996).

A Agenda 21 para a construção sustentável, adotada em 1999, foi baseada nas estratégias antes definidas na Agenda Habitat II, com o objetivo de funcionar como uma aplicação da Agenda 21 internacional ao setor da construção de modo a que a construção civil se torne mais sustentável. De acordo com o documento, os principais desafios que deverão ser ultrapassados no setor da construção são a redução do consumo de água potável, a estimulação pela eficiência energética, optar-se por materiais com bom desempenho ambiental levando a um desenvolvimento urbano mais sustentável (TTerra, 2007).

Miguel Amado defende que a construção sustentável tenta satisfazer as necessidades atuais, colocando em prática determinados objetivos, como o aumento do ciclo de vida das construções, a utilização de materiais reutilizáveis ou recicláveis de origem local e natural, a redução do consumo de energia, água e dos materiais e, por fim, a reciclagem dos resíduos pertencentes ao fim de vida dos edifícios, visando deste modo a minimização dos impactes ambientais. Defende também que o conceito de construção sustentável deve ser desenvolvido em todas as fases, tendo por base um processo cíclico. Assim sendo, a sustentabilidade será sempre considerada desde a fase de conceção do projeto, à eficiência do modo de construção, à forma sustentável como o edifício é utilizado por parte dos habitantes e à manutenção de modo sustentável que promova a durabilidade deste e a redução de custos no ciclo de vida. Entre fases tem de haver uma monitorização para perceber se o edifício

continua de acordo com a sustentabilidade estabelecida e se o conforto e a qualidade estão a ser respeitados (Sousa e Amado, 2013).

Tabela 3-1: Fases e medidas de intervenção na construção, adaptado de (Sousa e Amado, 2013)

Fases de Intervenção	Medidas de Intervenção
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Adoção de soluções passivas para a conservação de energia e conforto ambiental; - Sistema construtivo detalhado e exata compatibilidade entre as especialidades do projeto;
Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Solução construtiva rigorosa e detalhada; - Critério de seleção de produtos e materiais de construção; - Impactes ambientais temporários durante a construção;
Utilização	<ul style="list-style-type: none"> - Controlo de usos e atividades; - Procedimentos de utilização;
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Definição de rotinas e procedimentos de manutenção; - Monitorização do nível de eficiência mantido;

Atualmente, um dos grandes desafios da Engenharia Civil consiste em conciliar os métodos de construção ao aumento de eficiência ambiental. Logo, o objetivo da sustentabilidade é aplicar critérios e condições à construção de modo a que se minimizem os efeitos negativos existentes da fraca qualidade térmica e acústica dos edifícios existentes. Esses critérios podem ser aplicados tanto na reabilitação, como na construção nova, aumentando assim a qualidade desses edifícios por se pôr em prática o conceito de desenvolvimento sustentável na construção. Mas isso terá de acontecer em todas as fases do ciclo de vida de um edifício, como já referido, e, até, na sua desativação (Sousa e Amado, 2013).

Uma das fases mais importantes é, sem dúvida, a fase de projeto, uma vez que é nesta fase que se tomam decisões importantes que influenciarão as restantes fases do ciclo de vida do edifício. Algumas dessas decisões passam pela escolha do local, da orientação e da determinação do nível de eficiência térmica do edifício, dos materiais a serem utilizados, entre outras, que poderão ter repercussões nas necessidades energéticas e no consumo de água. Ou seja, apesar de não se ter diretamente impactes ambientais nesta fase, as decisões que são tomadas podem-no fazer posteriormente (Pinheiro, 2003).

Quanto à fase de construção, trata-se da aplicação e operacionalização do que foi definido no projeto e dura até à entrega da obra ao proprietário, indo desde alguns meses a poucos anos em alguns casos.

É aqui que se verificam as maiores alterações nos sistemas ambientais, por consequência das decisões tomadas na fase anterior, como o tipo de materiais utilizados. Esse fator, mais a energia consumida e os resíduos produzidos, são alguns dos principais problemas de sustentabilidade que podem ocorrer. Logo deve haver um controlo rigoroso da planificação da obra e da sua execução, procurando-se evitar o desperdício de materiais e utilizando materiais e equipamentos que reduzam a poluição e a produção de resíduos (Pinheiro, 2003).

A fase de utilização, como o próprio nome indica, começa com a receção do edifício pelo proprietário e dura até ao fim da utilização do empreendimento, onde se incluem atividades como as de manutenção e renovações ocasionais. É visto ser a fase com a maior duração em todo o ciclo de vida do edifício, consequentemente é aquela que proporciona maiores impactes ambientais. Atualmente, a maior parte dos edifícios são projetados para um período útil de referência de 50 anos, segundo a Norma Portuguesa NP EN 1990:2009 (Eurocódigo 0), com a exceção de determinados monumentos, pontes, hospitais, que poderão ultrapassar os 100 anos de vida útil (Instituto Português da Qualidade, 2009). Em Portugal existem vários exemplos de edificações antigas, o que demonstra que os impactes resultantes desta fase, nomeadamente o consumo de energia, consumo de água, extração e consumo de matérias-primas, produção de resíduos e contribuição para a emissão de gases de efeito estufa, contribuem como efeitos de longa duração (Pinheiro 2003).

A fase de demolição trata-se da fase que corresponde ao fim do ciclo de vida do edifício. Apesar de ser uma fase onde pode ocorrer algum consumo de energia e de materiais, assim como impactes ao nível do ruído e vibrações (poluição sonora), o principal impacte desta fase é, sem dúvida, a produção de resíduos, devido à demolição do edificado (Pinheiro, 2003).

Na Figura 3.4 estão sistematizados os principais impactes ambientais durante as fases do ciclo de vida de um edifício e que, por sua vez, estão ligados aos pilares do Desenvolvimento Sustentável (económico, social, ambiental).

Assim, com estes aspetos em mente, é de grande importância estabelecer estratégias que possibilitem a implementação de soluções passivas e processos construtivos rigorosos de tal modo que funcionem como catalisadores para uma construção sustentável. Um dos objetivos desse tipo de construção é a perspectiva de se construir habitações sem se prejudicar o meio ambiente alcançando uma qualidade superior para os seus habitantes. Devem-se estabelecer metas de sustentabilidade como o consumo eficiente de energia, aproveitamento de energias renováveis, redução da emissão de gases de efeito estufa, consumo consciente e eficiente de água, realizando o aproveitamento de águas pluviais e a reciclagem de águas residuais, desenvolvendo uma boa qualidade do ar interior, assim como apresentar um bom desempenho acústico e nos casos particulares de demolição do edifício, optar pela reutilização dos resíduos produzidos nessa desativação (Lucas, 2011).

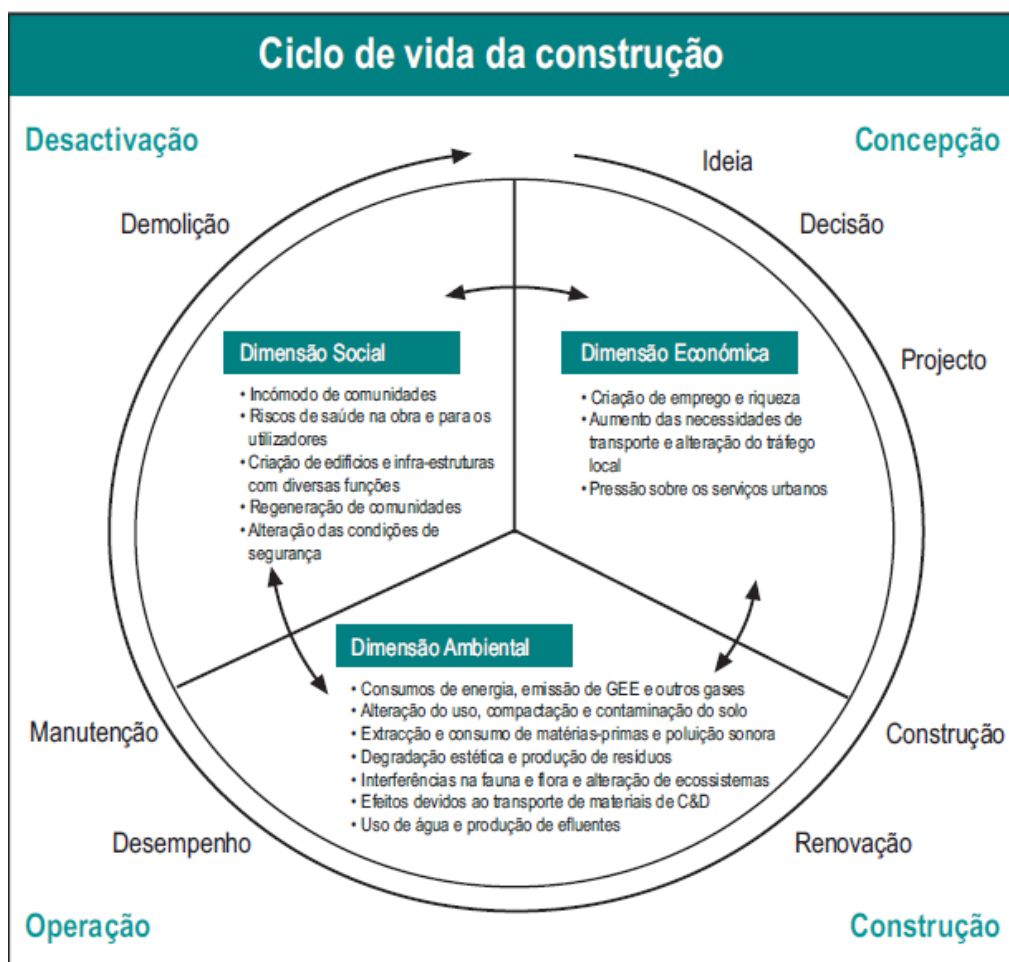


Figura 3.4: Impactes ambientais nas várias fases de um ciclo de vida de um edifício (Pinheiro, 2003)

Em Portugal, este tipo de construção ainda está longe de ser predominante, ao contrário de alguns países, principalmente do norte da Europa, onde já é comum e capaz de competir com a construção corrente. Assim, está-se perante uma nova fase relativamente à melhoria do desempenho ambiental das cidades e da qualidade de vida dos seus habitantes, seja através da construção sustentável em novos edifícios, ou através da reabilitação sustentável do edificado existente (Lucas e Amado, sem data).

3.3.1. Sistemas de avaliação da construção sustentável

Ao longo dos anos, têm sido criados vários sistemas e ferramentas informáticas que avaliam e fornecem apoio para que seja possível construir de modo sustentável, garantindo a sustentabilidade durante todo o ciclo de vida do edifício, de modo a facilitar a integração entre os parâmetros ambientais, sociais e económicos. Essa sustentabilidade é analisada e avaliada, identificando-se os fatores mais importantes e reunindo informações que servirão de apoio para as decisões que decorrerão durante as fases do ciclo de vida de um edifício (Amado e Vida, 2012).

A análise efetuada aos edifícios através dos sistemas de avaliação é fundamentada em determinados requisitos relacionados com aspetos climatéricos, ambientais e construtivos, focando-se, principalmente, no interior do edifício, na sua envolvente e na sua ligação com o meio ambiente e restante sistema urbano. A criação desses sistemas de avaliação é de grande utilidade, pois tornou possível a certificação da aplicação dos conceitos de construção sustentável ao setor da construção. Desde a sua criação, até aos dias de hoje, esses sistemas têm estado em constante evolução, sendo um dos objetivos atuais o de se desenvolver uma metodologia prática que seja uma base para a conceção dos mais variados tipos de edifícios sustentáveis, acompanhando a permanente evolução do setor da construção (Amado, 2009).

A construção sustentável é avaliada por meio de diversos parâmetros e indicadores, adaptados às diferentes dimensões do Desenvolvimento Sustentável. Esses indicadores possibilitam a avaliação do comportamento de determinada solução relativamente aos objetivos da sustentabilidade, enquanto que os parâmetros são propriedades que podem ser medidos, fornecendo as informações necessárias acerca de determinado fenómeno, ambiente ou área (Bragança e Mateus, 2006). Para exemplificar, um indicador seria o conforto ambiental interno de uma habitação ou edifício e o parâmetro relacionado a esse indicador seria o conforto térmico, visto ser um aspeto mensurável uma vez que se pode medir a temperatura interior.

Logo o objetivo passa por conseguir o máximo de informação e dados possíveis que ajudarão nas decisões a serem tomadas durante as várias fases do ciclo de vida de um edifício. No entanto, existem dificuldades na avaliação da sustentabilidade como a diferença entre o processo de produção e o produto, a variação da durabilidade, assim como do desempenho dos produtos de acordo com os utilizadores, entre outras, todas relacionadas com as características particulares do setor da construção. Devido a estas dificuldades, não é possível apresentar um indicador que incorpore todos os parâmetros analisados, expressando assim a sustentabilidade como um termo absoluto. Existem diversas particularidades que dificultam a classificação de um edifício quanto sua à sustentabilidade como no caso de uma solução possuir um bom desempenho ambiental, no entanto não cumpre as exigências funcionais mínimas, por conseguinte não pode ser considerada uma solução sustentável. Outro exemplo é o caso de uma solução possuir um bom desempenho ambiental e cumprir todas as exigências funcionais, mas o seu custo de construção ser muito superior à solução construtiva convencional, o que torna uma solução difícil de implementar devido ao seu custo e, por sua vez, não será considerada sustentável (Bragança e Mateus, 2006).

Para cada país/local deve existir uma solução de referência com a qual a construção sustentável pode ser comparada e desse modo verificar se a solução analisada é melhor ou pior do que a solução de referência. Pretende-se assim confirmar se a solução mais sustentável é tecnologicamente exequível em todas os momentos do ciclo de vida do edifício (Bragança e Mateus, 2006).

Existem três tipos de metodologias e ferramentas que auxiliam na avaliação da sustentabilidade e em diferentes fatores: material de construção, produto de construção, o elemento de construção, zona independente, edifício e local de implantação. Essas três metodologias são:

- Ferramentas de suporte à conceção de edifícios sustentáveis (*Performance Based Design*)

- Sistemas de Análise do Ciclo de Vida (LCA) dos materiais e produtos de construção
- Sistemas e ferramentas de avaliação da construção sustentável

As ferramentas de suporte são usadas e aplicadas nas fases de ante-projeto e projeto dos edifícios onde as decisões são tomadas baseadas no desempenho pretendido para o edifício. O dono de obra ou os decisores, indicam as propriedades que desejam para a solução final de projeto apresentando requisitos por ordem de importância e níveis de desempenho que deverão ser respeitados na fase de projeto pela equipa designada, tornando assim o edifício mais sustentável. Um exemplo de uma ferramenta de suporte é a *EcoProp* desenvolvida na Finlândia (Bragança e Mateus, 2006).

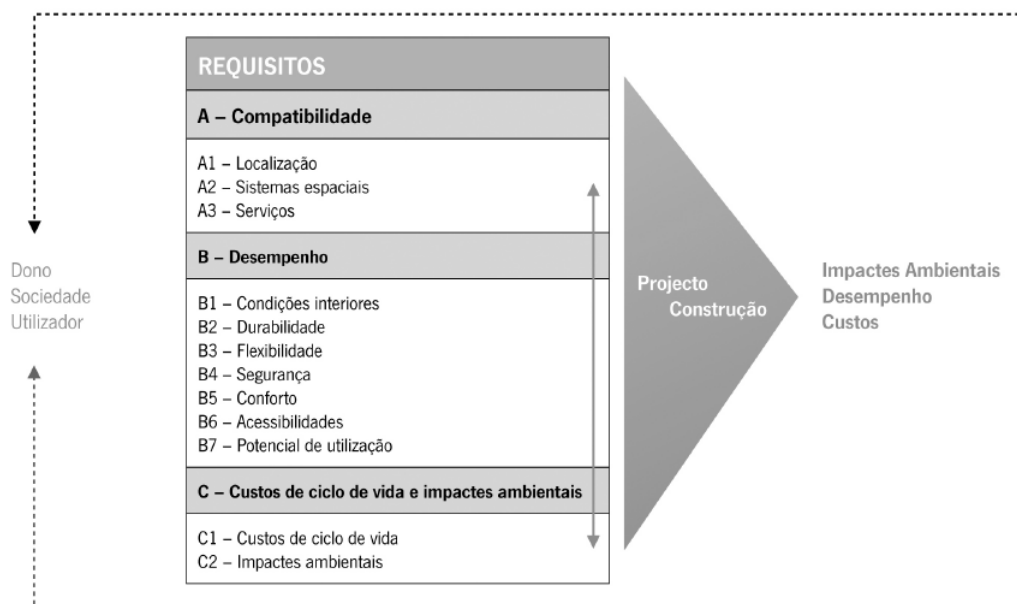


Figura 3.5: Modelo genérico de uma ferramenta de suporte aplicada na construção sustentável (Bragança e Mateus, 2006)

Quanto aos sistemas de Análise do Ciclo de Vida (LCA), estes são aplicados, assim como as ferramentas de suporte, nas fases de ante-projeto e projeto. Considerando o panorama atual do setor da construção, os sistemas LCA baseiam-se não só no impacto ambiental que certos materiais e produtos possam causar, mas também no desempenho económico que um edifício possa ter. Estes sistemas avaliam os impactos ambientais que estão ligados direta e indiretamente à totalidade do ciclo de vida dos materiais e produtos utilizados, fornecendo dados importantes para a avaliação da sustentabilidade (Bragança e Mateus, 2006). Existem vários países que implementaram estes sistemas LCA como é o caso da Holanda com o sistema *Eco-Quantum*, da Suécia com o *Eco-Effect*, o *Envest* do Reino Unido, *BEES* dos Estados Unidos, entre outros.

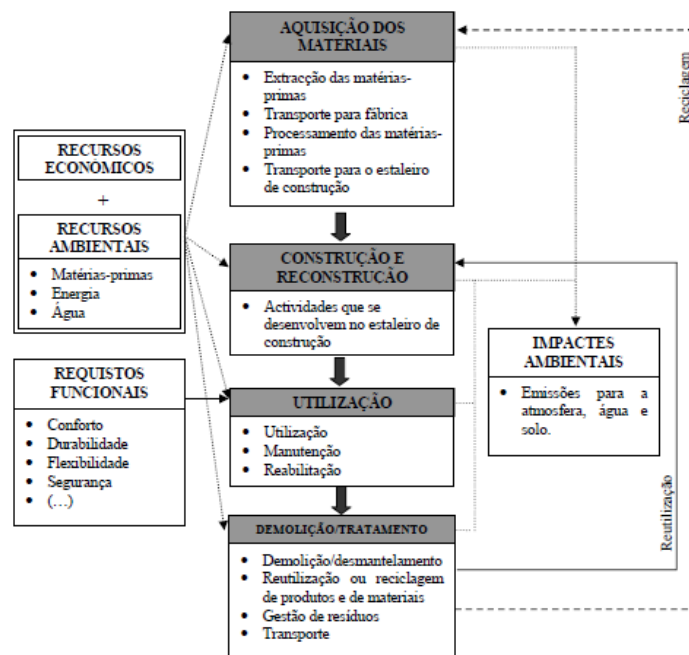


Figura 3.6: Sistema de análise do ciclo de vida de um edifício (Bragança e Mateus, 2006)

Os sistemas de avaliação da construção sustentável são usados, principalmente, para assegurar a sustentabilidade dos edifícios durante o seu ciclo de vida. A análise e o estudo de cada fase desse ciclo ajudam a que exista uma melhor integração entre os parâmetros económicos, sociais, funcionais, ambientais e outros critérios convencionais, assim como uma melhor definição do método específico a aplicar em cada uma dessas fases, uma vez que esses métodos terão de ser diferentes para os vários processos como para cada tipologia de edifício. Assim, os variados sistemas de avaliação da construção sustentável analisam e avaliam determinados pontos (local, água, energia, qualidade do ar interior) em comum apesar de o fazerem por intermédio de diferentes abordagens (Bragança e Mateus, 2006).

Atualmente, tem-se acesso a vários sistemas que ajudam na avaliação da construção sustentável, assim como ferramentas baseadas nos sistemas de Análise do Ciclo de Vida. Diversos países criaram e desenvolveram o seu próprio sistema para abranger a legislação e regulamentação local e as soluções construtivas baseadas em técnicas e materiais locais. As ferramentas mais conhecidas são o BRREAM (Reino Unido), o GBC (Canadá) e o LEED (Estados Unidos). Em Portugal foram também desenvolvidas ferramentas de apoio à avaliação da construção sustentável, o Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção, ou LiderA, e o SBToolPT. O LiderA foi desenvolvido no Instituto Superior Técnico e é um sistema voluntário de apoio ao desenvolvimento de soluções e avaliação da sustentabilidade da construção, que atribui, em caso de desempenho comprovado, uma certificação pela marca portuguesa LiderA - Sistema de Avaliação da Sustentabilidade. O SBToolPT é uma ferramenta que permite o reconhecimento, a avaliação e a certificação da sustentabilidade de edifícios (Bragança e Mateus, 2006).

Grande parte destas ferramentas são criadas e desenvolvidas para obterem um determinado desempenho global de um edifício, considerando-o como um todo e incluindo as suas necessidades energéticas ao longo do ano. Esse desempenho é obtido através da soma e combinação de comportamentos de diferentes materiais escolhidos e das várias componentes do edifício. Atualmente, o objetivo principal destes sistemas de avaliação da sustentabilidade passa por desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de apoio para a construção de edifícios sustentáveis, que seja prática e facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à contínua evolução tecnológica do setor da construção (Bragança e Mateus, 2006).

3.3.2. Conceito e padrão Passivhaus

A origem do conceito *Passivhaus* teve lugar em 1988, no trabalho desenvolvido pelo Professor Bo Adamson e o Doutor Wolfgang Feist, devido à construção de baixo consumo energético exigido nos anos 80 para edifícios novos na Suécia e na Dinamarca. Após essa investigação, foram desenvolvidos projetos onde se aplicava o conceito *Passivhaus*, o primeiro em Darmstadt (1990) e o segundo em Groß Umstadt (1995), ambos na Alemanha. Nos dois casos, eram moradias onde o objetivo principal era o de alcançar um baixo consumo energético a custos razoáveis para o clima alemão. Devido ao sucesso do primeiro edifício, deu-se a fundação do Passive House Institute com sede em Darmstadt. Desde então que esta instituição se tem dedicado ao estudo e desenvolvimento de edifícios eficientes energeticamente (Passive House Institute 2016).

Foi assim criado o conceito *Passivhaus*, fundamentado em três componentes. A primeira é o facto de se limitar as necessidades energéticas, correspondentes do aquecimento, arrefecimento, produção de água quente e eletricidade. A segunda é a exigência da qualidade térmica do edifício. Por último, é importante basear a construção do edifício em sistemas passivos de modo a satisfazer as primeiras componentes a um custo rentável (Ford et al., 2007).

Um exemplar de um edifício altamente eficiente do centro e norte da Europa em que se adote os requisitos da *Passivhaus*, devido ao clima frio ali sentido, levará à aplicação de níveis de isolamento muito elevados, com ausência de pontes térmicas, que garanta a estanquidade do edifício, uso de janelas triplas e instalar-se-á um sistema de ventilação com recuperação de calor, optando sempre que possível por equipamentos de baixo consumo elétrico. Logo é importante cumprir os requisitos tanto na fase de projeto como durante a construção (PHA, 2014).



Figura 3.7: Fachada sul do edifício Passivhaus Darmstadt, Kranichstein (Greensavers, 2017)

Até a data, já foram construídos mais de 60 mil edifícios residenciais seguindo o conceito *Passivhaus* e mais de 14 mil edifícios certificados. A justificativa deste número é o facto de não existirem restrições a um tipo de construção, tipo de edifício e um determinado clima. Tanto pode ser adotado na construção em madeira maciça, em construção pré-fabricada ou em construção em betão armado, assim como em edifícios de habitação, administrativos, escolares ou hotéis, provando que o conceito se adequa a qualquer sistema construtivo, independentemente da função do edifício. Isto acontece porque o padrão *Passivhaus* se baseia apenas em princípios físicos (Passive House Institute, 2016).

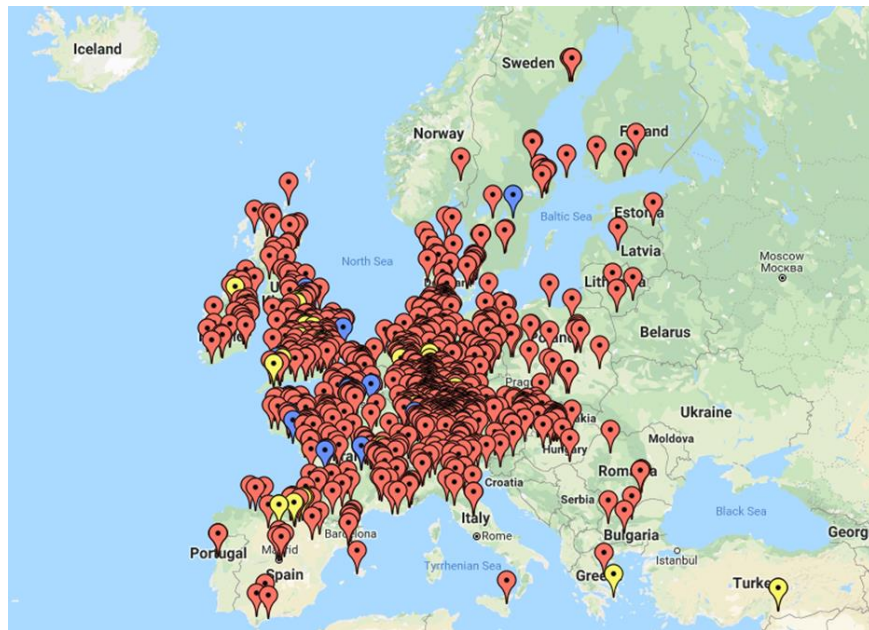


Figura 3.8: Edifícios com padrões e certificação *Passivhaus* na Europa (Passiv, 2015)

Quanto aos requisitos a serem aplicados na fase de projeto e construção de um edifício para que se verifique o conceito *Passivhaus* são:

- necessidades de aquecimento e arrefecimento
- consumo de energia primária
- estanquidade do edifício
- conforto térmico para os seus utilizadores

O limite para as necessidades energéticas tanto de aquecimento como de arrefecimento é o de 15 kWh/(m².ano). O valor da energia é verificado com a ajuda do PHPP (Passive House Planning Package), uma ferramenta utilizada no projeto de casas passivas onde se calcula o balanço energético, se executa o planeamento de janelas, o projeto de ventilação, o projeto de aquecimento de águas, determinação da quantidade de energia para o aquecimento e arrefecimento do edifício e a estimativa do conforto no verão (Passive House Institute, 2016).

Quanto ao consumo de energia primária, esta não deve exceder o limite de 120 kWh/(m².ano), energia essa concernente aos serviços energéticos como o aquecimento de águas, equipamentos elétricos e aquecimento e arrefecimento do ambiente interior. Deve-se verificar a estanquidade ao ar através do teste de pressurização Blower Door a 50 Pa, cujo limite da taxa de renovação horária do ar interior deverá ser igual ou inferior a 0,6 renovações por hora (Passive House Institute, 2016).

Relativamente ao conforto térmico do edifício, é exigido que, durante o inverno, a temperatura do ar interior não seja inferior a 17°C em todas as divisões, incluindo na superfície das áreas envidraçadas. Por sua vez, durante o verão, a temperatura interior não deverá exceder os 26°C por um período superior a 10% do tempo. Juntamente com o cumprimento dos requisitos, é importante ter em consideração a continuidade do isolamento térmico da envolvente do edifício. O valor do coeficiente de transmissão térmica, U , deve ser limitado a 0,15 W/(m².K) em toda a envolvente, seja em climas frios como em climas quentes. Ou seja, apenas 0,15 watts atravessam horizontalmente as paredes, lajes e coberturas da envolvente quando estas estão sujeitas a uma diferença de temperatura entre os ambientes que cada elemento separa, em cada metro quadrado de superfície (Passive House Institute, 2016).

O valor do coeficiente de transmissão térmica das janelas, incluindo as caixilharias, não deve ser superior a 0,8 W/(m².K) para climas frios. Relativamente ao fator solar do envidraçado, g , deve admitir o valor mais alto possível, a rondar 0,5, numa escala de 0 a 1 o que significa que se iria obter ganhos na ordem de 50% (Passive House Institute, 2016).

Uma tecnologia que foi introduzida no conceito Passivhaus é a ventilação com recuperação de calor. Esta tecnologia, com a ajuda de um permutador de calor de elevado rendimento, permite que pelo menos 75% do calor que advém da recuperação de calor seja renovado, contribuindo para uma melhor qualidade do ar interior e um menor consumo de energia. Para além desse fator, é importante que estes sistemas possuam um baixo nível acústico, inferior a 25 dB. Outra característica relacionada com a ventilação, é que todos os compartimentos do edifício devem ter uma abertura para proporcionar o fluxo natural de ar nas noites de verão (PHA, 2014).

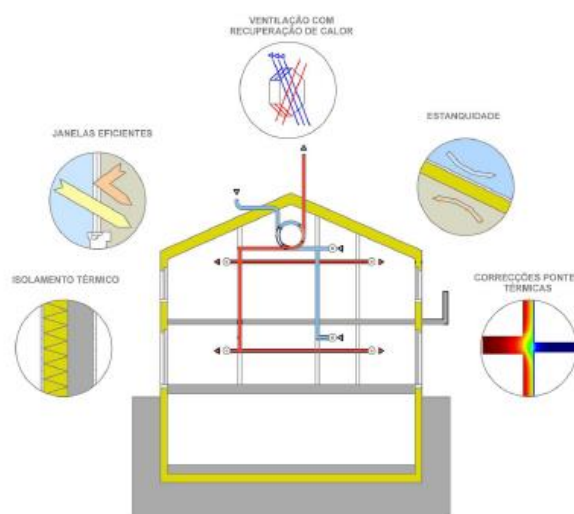


Figura 3.9: Requisitos da construção *Passivhaus* (Gavião, 2014)

Como já indicado, um ponto fundamental para o correto funcionamento de um edifício *Passivhaus* é a ausência ou a minimização de pontes térmicas, evitando assim o fluxo de calor nessas zonas. O valor limite para o coeficiente de transmissão térmica linear, sendo medido pelo exterior, é $\Psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (PHA, 2014).

Aplicando todos os requisitos e padrões *Passivhaus* mencionados, torna-se possível economizar cerca de 90% da energia em relação à construção existente na Europa e 75% em relação à construção nova. Esta poupança não se dá apenas nos climas frios, mas ocorre também nos climas quentes, durante a estação de arrefecimento (PHA, 2014).

Logo, o conceito *Passivhaus* encaixa perfeitamente na construção sustentável, representando um edifício que consome pouca energia, apresentando resultados ecologicamente favoráveis, providenciando o conforto dos seus utilizadores.

3.3.3. Conceito nZEB

Como o próprio nome indica, os *Net-Zero Energy Buildings* e os *Nearly-Zero Energy Buildings* são edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo. Devido à Diretiva Europeia para o Desempenho Energético de Edifícios de maio de 2010, esta temática tem vindo a ganhar relevo no setor da construção. Segundo esta diretiva, um edifício de balanço energético nulo ou quase nulo representa um edifício que tenha um elevado desempenho energético no qual uma grande parcela das suas necessidades energéticas quase nulas são cobertas pela energia produzida localmente (Marszal e Heiselberg, 2009).

De acordo com a mesma diretiva, é definido que todos os estados membros deverão tomar as medidas necessárias e criar condições para que a partir de 2020 todos os novos edifícios construídos sejam *Nearly-Zero Energy Building* (nZEB). Logo, o objetivo destes edifícios passa pela sustentabilidade, por produzirem energia para o próprio consumo de forma mais limpa (Atanasiu, 2011).

Assim, para se construir um edifício nZEB torna-se necessário seguir determinados princípios que servem de guia durante a fase de projeto. São eles:

- Redução dos consumos energéticos
- Utilização de energias renováveis
- Redução das emissões de gases de efeito estufa

Por sua vez, é essencial considerar alguns aspetos na conceção destes edifícios como a orientação solar, as características locais e as soluções construtivas, mais especificamente, os vãos envidraçados, os materiais a usar, entre outros (Poggi et al., 2015).

Tradicionalmente, um ZEB usa fontes de energia elétricas e de gás natural apenas quando a sua própria produção não consegue suprir as necessidades energéticas. O edifício utiliza fontes renováveis de energia, não poluentes e de baixo custo. Quando a produção dessa energia é superior ao consumo,

acontece a exportação do excesso de produção na rede pública para uso posterior. Relativamente à produção de energia proveniente de fontes renováveis, devem ser selecionadas tecnologias disponíveis durante a vida útil do edifício e com o menor impacto ambiental possível. É importante que essas mesmas tecnologias possuam uma elevada disponibilidade e de recurso recorrente fácil, como acontece com os sistemas fotovoltaicos e os sistemas solares de aquecimento de água (Atanasiu, 2011).

Quando as medidas já faladas usadas numa Passivhaus (isolamento, janelas de alto desempenho, ventilação com recuperação de calor, arquitetura sustentável) são combinadas com fontes de energia local renováveis e com um consumo de energia praticamente igual à energia produzida, pode-se considerar que está presente um caso de "near net zero energy", "net zero-energy" ou mesmo "positive energy building". O conceito nZEB pode ser definido como um edifício que durante um ano é neutro, ou seja, durante um ano consome tanta energia da rede pública quanto aquela que ele disponibiliza para essa rede (Aelenei e Gonçalves, 2014).

Pode-se observar na Figura 3.10 a idealização do conceito nZEB, onde se verifica as variáveis que participam na equação do balanço energético de um edifício e que o consumo de energia da rede devido a essas variáveis é aproximadamente igual à energia produzida e fornecida à rede.

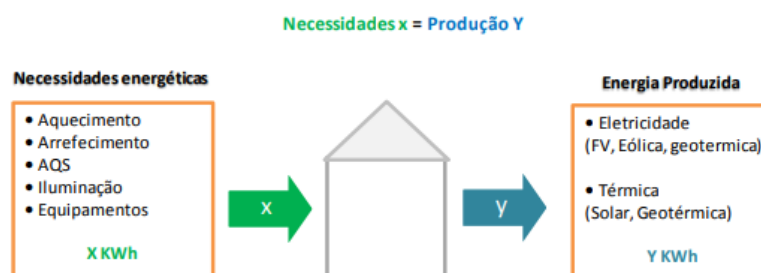


Figura 3.10: Conceito nZEB (Jorge e Lopes, 2017)

Um edifício nZEB pode ser definido de diversas maneiras dependendo dos objetivos do projeto, dos valores energéticos desejados pela equipa de projetistas ou dos custos máximos pretendidos pelo proprietário do edifício. Ou seja, existem edifícios nZEB com diferentes consumos energéticos, consumos esses que deverão ser compensados com a correspondente produção de energias renováveis. Essas diferentes perspetivas são (Torcellini e Crawley, 2006):

- *Nearly zero energy building* (nZEB): o consumo anual de energia deverá aproximar-se à produção de energia por fontes de energia renováveis.
- *Net zero energy building* (nZEB): o consumo anual de energia deverá ser igual ou inferior à energia produzida pelas fontes de energia renováveis.
- *Net Zero Site Energy*: o consumo energético anual é, pelo menos, igual à produção de energia anual do próprio edifício com origem nas fontes renováveis, excluindo as fontes das proximidades.

-
- *Net Zero Source Energy*: o consumo de energia anual é, pelo menos, igual à produção, considerando a fonte de energia primária utilizada na produção e fornecimento de energia ao edifício.
 - *Net Zero Energy Cost*: o valor anual que a rede pública paga pelo fornecimento da energia produzida e exportada pelo edifício é, pelo menos, igual ao valor anual que foi pago a rede pelo consumo de energia anual do edifício. Ou seja, a conta de energia do edifício é zero ou negativa.
 - *Net Zero Energy Emissions*: a quantidade de energia renovável livre de emissões anualmente produzida é, pelo menos, igual à quantidade de energia anual consumida através de fontes renováveis.

As escolhas efetuadas relativamente às soluções durante a fase de projeto estão diretamente ligadas com a definição da perspectiva nZEB indicadas anteriormente.

Apesar de não haver uma abordagem padrão para a conceção de nZEB, é consensual que se deve optar por iniciar o projeto com a introdução do projeto sustentável passivo de modo a reduzir as necessidades de energia. Desse modo as soluções passivas representam elementos cruciais na construção de um nZEB uma vez que estão diretamente relacionadas com as necessidades de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação (Aelenei et al., 2013).

De seguida, introduzir-se-á a temática dos Sistemas Passivos, quer de aquecimento, quer de arrefecimento.

3.4. Sistemas solares passivos

Como já referido, a energia solar pode ser aproveitada nos edifícios de várias maneiras, sejam elas através de sistemas ativos ou passivos. Em ambos, existe a possibilidade de determinar a função dos sistemas para o arrefecimento ou o aquecimento do edifício. Para o presente trabalho, interessa estudar os sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento.

Os sistemas passivos de aquecimento têm como principal função maximizar a captação de radiação solar no Inverno através de vãos envidraçados bem dimensionados e orientados de modo a fazer o aquecimento da habitação nas horas seguintes, contribuindo para o conforto interior. Dividem-se pelo modo como se dá o ganho energético, em ganho direto, indireto ou isolado. O ganho energético direto de aquecimento ocorre através destes envidraçados estando dependente da dimensão destes e da exposição solar. O ganho indireto ocorre através da captação da radiação solar por parte de uma massa térmica que atua como elemento acumulador de calor, amortecendo as variações de temperatura no interior. Por sua vez, o ganho energético isolado tem esta denominação devido aos ganhos solares acontecerem em zonas anexas à área habitável (Gonçalves e Graça, 2004).

Quanto aos sistemas passivos de arrefecimento, a orientação solar também é um fator determinante para o desenvolvimento destas estratégias que se baseiam principalmente na ventilação natural e no

controle da radiação solar direta das superfícies envidraçadas, seja através de elementos físicos ou de dispositivos móveis. Esta ventilação natural acontece quando se verifica uma diferença de pressão atmosférica entre o interior e o exterior, ou seja, o ar frio tem tendência para baixar visto ser mais pesado que o ar quente, que tem tendência para subir, provocando assim a renovação do ar entre o interior e o exterior (Gonçalves e Graça, 2004).

O arrefecimento passivo pode ainda ser efetuado por outros meios, como por exemplo pelo arrefecimento do solo, arrefecimento evaporativo e arrefecimento radiativo (Gonçalves e Graça, 2004).

3.5. Sistemas passivos de aquecimento

Estes sistemas caracterizam-se por fazerem parte integrante da estrutura construtiva do edifício ou da habitação e por desempenharem funções de coletores e acumuladores de energia solar incidente. Têm a função de distribuir o calor através de processos naturais de transferência contribuindo para o conforto interior sem recorrer a sistemas ativos de climatização. Pretendem maximizar os ganhos solares por intermédio de vãos envidraçados bem dimensionados e orientados, aos quais se podem associar massas térmicas, que permitem absorver, armazenar e distribuir a energia solar (Gonçalves e Graça, 2004).

Os vãos envidraçados devem estar orientados a sul ou no quadrante sudeste-sudoeste, visto que, na estação de aquecimento, esses envidraçados receberão mais radiação solar do que se tivessem outras orientações (Figura 3.12). Para além disso, no verão torna-se uma fachada que pode ser facilmente protegida dessa mesma radiação, com a ajuda de dispositivos de sombreamento, devido à elevada altitude do Sol como mostra a figura 3.11, comparativamente com a baixa altura do Sol no inverno como se verifica na figura 3.12 (Gonçalves e Graça, 2004).

É lógico, portanto, que os espaços de permanência sejam na zona do edifício que esteja orientada a sul, de modo a obterem maior conforto térmico devido à penetração do sol. Por sua vez, espaços ou divisões secundárias como arrecadações, corredores, escadas, garagens, etc, deverão ficar localizadas no espaço interior orientado a norte. É também importante projetar o edifício de maneira a que a face orientada a sul seja mais longa que as orientadas a este e oeste, de modo a que essa fachada seja mais quente no inverno (radiação máxima a sul) e mais fria no verão (radiação máxima a este e oeste), com o devido uso de sombreamento (Moita, 2010).

Assim sendo, a radiação solar e o estudo das trajetórias do Sol são fatores fulcrais durante a fase de projeto, sendo responsáveis pela iluminação natural do edifício e pelo aquecimento do ambiente interior.

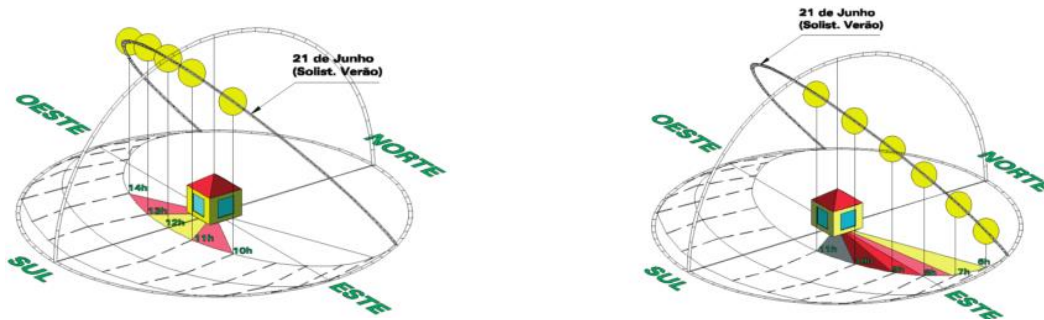


Figura 3.11: Radiação solar incidente nas fachadas a sul (esquerda) e a nascente (direita) durante o verão (Gonçalves e Graça, 2004)

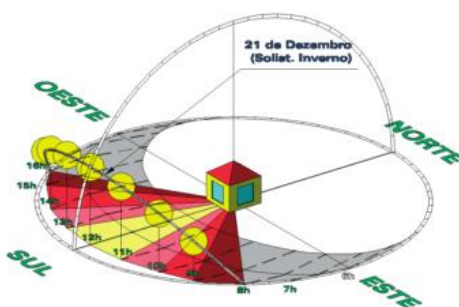


Figura 3.12: Radiação solar incidente nas fachadas durante o inverno (Gonçalves e Graça, 2004)

Podem-se combinar diferentes tipos de aproveitamento de energia, com a possibilidade de serem utilizados isoladamente ou em conjunto, beneficiando da junção das vantagens de cada tipo e reduzindo ou até eliminando as desvantagens que poderiam existir. São eles:

- Ganhos diretos
- Ganhos indiretos
- Ganhos isolados

3.5.1. Sistemas de ganho direto

Dos sistemas passivos de aquecimento, estes são os mais simples e por essa razão os mais utilizados, ainda que na maioria das vezes de forma não intencional. Logo, cada divisão útil numa habitação pode funcionar como sistema de ganho direto desde que contenha um envidraçado bem orientado que possibilite a incidência de radiação solar no espaço e nas massas térmicas envolventes. Estas últimas desempenham um papel de proporcionar conforto interior ao atenuar a amplitude térmica do edifício. Durante o dia, a massa térmica absorve calor devido à radiação solar incidente e libertando esse calor durante a noite para o espaço interior. Quanto maior a massa térmica, como o caso do betão, tijolo ou pedra, menor será a variação de temperatura, no entanto, existirá mais dificuldade de o edifício aquecer ou arrefecer. Durante o inverno, o objetivo passa por transmitir energia para o interior durante a noite, energia essa que foi recebida durante o dia. No verão, a função é a mesma, mas no sentido inverso,

libertando o calor durante a noite para o exterior por meio de ventilação. Ou seja, torna-se essencial que haja um equilíbrio entre a massa térmica, a área dos vãos envidraçados e o isolamento, sendo importante a localização e o tipo de edifício (Gonçalves e Graça, 2004).

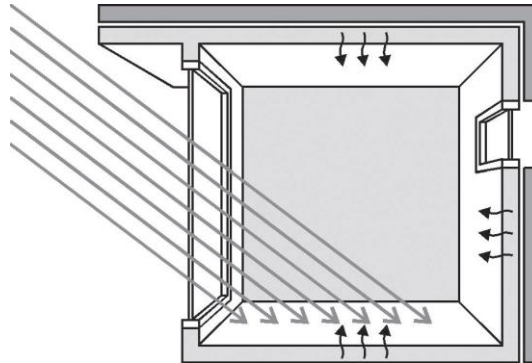


Figura 3.13: Sistema de ganho direto (Gonçalves e Graça, 2004)

Assim a absorção, armazenamento e libertação de energia é feito através do efeito estufa, diretamente no edifício. Isso pode realizar-se através de vãos envidraçados, aberturas zenitais ou claraboias. As perdas de calor para o exterior reduzem-se através da utilização de vidros duplos de baixa emissividade e/ou colocando sistemas de oclusão que serão ativados durante a noite ou em dias de sol encoberto.



Figura 3.14: Moradias em Sintra com sistema de ganho direto - Envidraçados orientados a sul (Gonçalves e Graça, 2004)

Para que este sistema funcione corretamente, a área transparente da janela deve estar em concordância com a capacidade de armazenamento térmico assim como a utilização dos dispositivos de sombreamento deve ser pensada para prevenir o sobreaquecimento do espaço interior na estação de arrefecimento. Também deve ser aplicado isolamento térmico nos elementos opacos, pelo interior ou exterior das fachadas, e nos não opacos, como estores ou portadas, evitando assim perdas de calor que acontecem, principalmente, durante a noite e no inverno. A adoção de vidros duplos ajuda também a evitar transferências de calor do interior para o exterior (Moita, 2010).



Figura 3.15: Envidraçados orientados a sul no edifício de serviços, ICP, no Porto (Ciamh, sem data)

Contudo, existem algumas “regras” e conselhos a seguir para que o sistema de ganho direto funcione de maneira mais correta. São elas (Mendonça, 2005):

- Deve ser efetuada uma análise do aquecimento do edifício
- Não se deve exceder 15 cm de espessura na massa térmica
- Não se deve cobrir a totalidade dos pisos das divisões com carpetes ou alcatifas ou cobrir as paredes com demasiados quadros ou forradas a corticite, ou seja, manter tão simples como funcional e esteticamente possível
- Usar uma cor medianamente escura para pavimentos de modo a armazenarem o calor num nível mais baixo contribuindo para um maior conforto
- Usar cores claras para paredes interiores para refletirem a radiação solar de modo a distribuírem o calor. As paredes de massa térmica podem ser de qualquer cor
- Se for utilizado blocos de betão nas paredes, preencher todas as cavidades existentes
- A superfície de massa térmica exposta ao Sol deve ter, pelo menos, 9 vezes a área do envidraçado

Como todos os sistemas, o sistema de ganho direto tem vantagens e desvantagens que deverão ser equacionadas. As vantagens são (Mendonça, 2005):

- Elevado rendimento energético quando comparado com outros sistemas passivos, pois a energia utilizada por metro quadrado de captador é máxima
- O seu custo é muito inferior relativamente a outros sistemas, uma vez que os materiais e sistemas construtivos escolhidos podem ser os comuns
- Grande flexibilidade na conceção arquitetónica dado tratar-se de um princípio de funcionamento simples, devendo-se seguir as recomendações do REH relativamente à inércia térmica, área de envidraçados e coeficientes de U
- Hipótese de aproveitamento da área de envidraçado para iluminação do interior e visibilidade exterior, se for utilizado vidro ou material translúcido

Por outro lado, as desvantagens são (Mendonça, 2005):

- Possibilidade de ocorrerem desigualdades na temperatura interior devido à radiação solar nas horas de mais calor que podem provocar desconforto aos habitantes
- Provável degradação e descoloração dos materiais no interior da divisão devido à incidência de radiação solar
- Falta de privacidade devido às grandes superfícies de envidraçados, assim como a possibilidade de ocorrer um excesso de iluminação do espaço interior
- Necessidade fulcral de orientar a sul os envidraçados
- A propensão para se fechar os sistemas de oclusão pode cobrir os ganhos de energia no inverno criando o risco do sistema não se tornar efetivo ainda que esteja bem dimensionado
- É necessário prever a quantidade de massa térmica do edifício para evitar sobreaquecimentos que possam provocar desconforto. A oscilação máxima de temperaturas não deverá ser superior a 6°C
- A necessidade de abranger grandes percentagens de aquecimento do edifício, com a introdução de grandes quantidades de massa térmica, conduz a um maior peso do edifício, e por sua vez, mais dispendioso

3.5.2. Sistemas de ganho indireto

A captação direta de energia tem como principal inconveniente a dependência absoluta das horas de Sol, pelo que houve necessidade de criar um sistema acumulador de energia, desenvolvendo-se assim o sistema de ganho indireto. Neste tipo de sistema, a captação de energia realiza-se através de um elemento que atua como acumulador de calor. Ou seja, a radiação solar não atinge diretamente o compartimento, mas sim a massa térmica, sendo a energia solar absorvida e transferida para o espaço interior por convecção e condução, gerando, devido à inércia térmica, um retardamento na transmissão e uma amortização na oscilação das temperaturas. Esta transferência de energia pode ser imediata ou desfasada, dependendo da estratégia de transferência de calor adotada. Isto é, se os sistemas possuírem aberturas de ventilação trata-se de transferência imediata, caso contrário a transferência é desfasada no tempo.

Assim, ao contrário do que se pode verificar nos sistemas de ganho direto, as propriedades de armazenamento e de inércia térmica das paredes solares não só impedem sobreaquecimento em dias de forte insolação, como possibilitam temperaturas amenas em eventuais dias de fraca radiação. Estas paredes são particularmente aconselháveis em climas e zonas com elevada percentagem de radiação direta na estação fria (Pinto e Dias, 2015).

Os sistemas de ganho indireto, sendo dos mais eficazes quanto ao contributo solar no constante aquecimento interior, são também aqueles cujos custos de construção são mais elevados.

Assim como os sistemas de ganho direto, os de ganho indireto apresentam várias vantagens, nomeadamente (Mendonça, 2005):

- Permitem um controlo mais rigoroso da quantidade de calor que se cede ao interior do que no caso do ganho direto, evitando o sobreaquecimento, visto que as oscilações da temperatura interior são menores;
- Atuam como aquecedores no inverno e refrigeradores no verão;
- Fornecem calor durante o dia por convecção do ar quente e por radiação da energia armazenada na massa térmica durante a noite;
- Evitam a degradação de objetos expostos diretamente à radiação solar;
- Relativamente às coberturas de água, devido à grande área que recebe radiação solar, os efeitos de arrefecimento e aquecimento são mais uniformes do que no caso das paredes. Outro fator é o facto de a orientação solar deixar de ser um ponto fulcral;

Por sua vez, as desvantagens que estes sistemas apresentam são (Mendonça, 2005):

- Assim como os sistemas de ganho direto, necessitam de estar orientados a sul para obter um maior rendimento;
- Elevadas perdas térmicas durante a noite;
- O isolamento pode tornar-se de difícil instalação e manutenção, principalmente em paredes de água;
- As paredes de armazenamento, como as paredes de Trombe não ventiladas, ocupam espaço habitável e aumentam substancialmente o peso do edifício;
- Impedimento de vista exterior, e visto ser obrigatória a existência de vãos envidraçados, estes por vezes têm de ser orientados noutras direções;

Nos sistemas de ganho indireto podem-se incluir paredes, coberturas e pavimentos de armazenamento térmico que serão analisadas em seguida.

Parede de Trombe

A parede de Trombe é um sistema que é composto por um envidraçado exterior, bem orientado (sul), e por uma parede maciça interior, normalmente de cor escura na face exterior para aumentar a captação de radiação solar que pode ser de pedra, betão, terra compacta, material cerâmico ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico. A espessura da parede varia conforme as propriedades do material (densidade, calor específico e condutibilidade térmica). É criada uma caixa-de-ar que pode ter uma dimensão entre os 5 e 20 cm, ajustando-se em função das condições climáticas e do comportamento desejado por parte deste sistema. Esta parede pode ser ventilada ou não ventilada (Rocheta e Farinha, 2007).

É, assim, criado um efeito estufa entre o envidraçado e a parede, onde se atinge temperaturas muito elevadas (30°C a 60°C). A energia armazenada nessa caixa de ar durante o dia, pode ser transferida para o interior do compartimento durante a noite, por processos de condução através do elemento acumulador, isto no caso de uma parede não ventilada. A transferência de calor é efetuada lentamente acumulando o calor na parede durante o dia e libertando esse calor gradualmente durante a noite. No período noturno é importante utilizar um sistema de oclusão de modo a diminuir as perdas de calor. Esta será uma boa opção para climas frios ou temperados e com boa insolação (Rocheta e Farinha, 2007).

Se, pelo contrário, optar-se por uma parede ventilada, essa transferência de energia dá-se por meio de convecção natural, aquecendo desse modo o compartimento. As paredes possuem orifícios de termocirculação na parte inferior e superior que contribuem para o aquecimento e arrefecimento, conforme as necessidades. Assim, a transferência de calor acontece de imediato, o que significa uma menor quantidade de energia acumulada na parede. Para que tal aconteça corretamente, as aberturas no vidro devem se manter fechadas durante o inverno, enquanto que os orifícios na parede devem-se manter abertos durante o dia e fechados durante a noite ou quando a radiação solar não for significativa, de modo a evitar perdas de calor por inversão da circulação do ar. Por outro lado, no verão estes orifícios de ventilação deverão estar abertos durante a noite assim como as aberturas do vidro durante o dia. Para além dos orifícios, a parede de Trombe deve possuir dispositivos de sombreamento, como estores ou palas, para ajudar a evitar o sobreaquecimento da divisão na estação de arrefecimento e evitar as perdas térmicas durante as noites do inverno (Gonçalves e Graça, 2004).

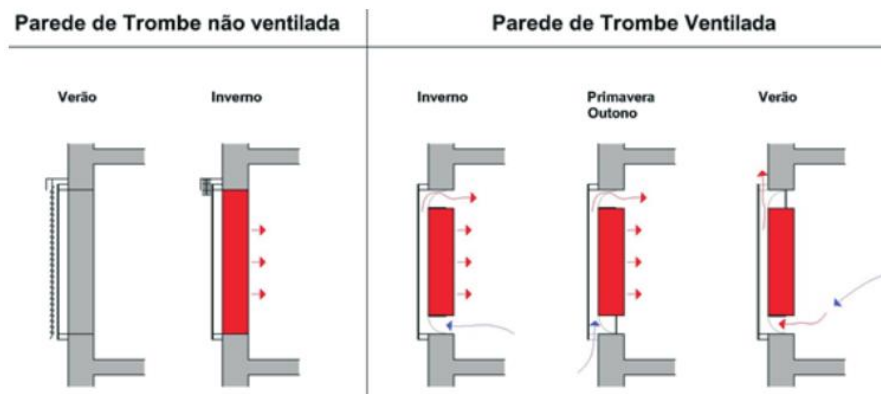


Figura 3.16: Esquema de funcionamento da parede de Trombe ventilada e não ventilada durante as várias estações (Pinto e Dias, 2015)

Deve-se levar em consideração as características térmicas dos materiais a aplicar na construção da parede de Trombe, de modo a se obter uma inércia térmica eficaz. A densidade do material ajuda a saber o grau de concentração de massa num determinado volume enquanto que o calor específico representa uma grandeza física que determina a variação térmica que um material apresenta ao receber calor. Por sua vez, a condutibilidade térmica representa a quantidade de calor que atravessa o material na sua espessura total. Ou seja, um material com elevada condutibilidade térmica conduz de forma mais rápida o calor do que os materiais com baixa condutibilidade. Por fim, a capacidade calorífica de um material possibilita determinar o calor necessário que esse material tem de receber de

modo a ocorrer uma variação de temperatura. Com estes fatores em mente, para um melhor funcionamento e aproveitamento da parede de Trombe, o material escolhido deve apresentar uma elevada capacidade calorífica, elevada emissividade e uma condutibilidade térmica e densidade moderadas (Santos e Matias, 2006).

O dimensionamento da parede de Trombe depende, principalmente, dos dados climáticos, pois quanto maior for a radiação incidente, maior deverá ser a espessura da parede, do volume do compartimento e, por sua vez, do coeficiente de condutibilidade térmica do material, visto que estes últimos dois aspetos estão interligados pois quanto maior for a condutibilidade, maior deverá ser a espessura para que se possa evitar o aquecimento demasiado rápido ou prematuro (Gupta e Tiwari, 2016).

Outro parâmetro a ter em consideração no dimensionamento da parede acumuladora de calor, seja parede de Trombe ou parede de água, é o volume do compartimento que se deseja climatizar. No Tabela 3-2 apresentam-se as áreas das paredes acumuladoras em função da superfície do compartimento e das temperaturas médias exteriores durante a estação de aquecimento. Como se pode observar, para uma temperatura de 8 °C são necessários 0,25 a 0,35 m² de área de parede de Trombe e 0,15 a 0,25 m² de parede de água por cada m² de superfície do espaço. Por exemplo, uma divisão de 10 m² de área de pavimento necessita de 2,5 a 3,5 m² de área de parede de Trombe e 1,5 a 2,5 m² de parede de água, demonstrando que são necessárias áreas menores quando se opta por parede de água.

Tabela 3-2: Área de parede acumuladora em função da superfície do compartimento e das temperaturas médias exteriores na estação de aquecimento (Moita, 2010)

Temperatura média exterior na estação de aquecimento (°C)	Área de parede necessária por cada m ² de superfície do compartimento (m ²)	
	Parede de Trombe	Parede de Água
-1	0,5-0,7	0,35-0,55
2	0,4-0,6	0,25-0,45
5	0,3-0,45	0,2-0,35
8	0,25-0,35	0,15-0,25

Este sistema tem de ser desenhado de modo a que seja possível a sua limpeza no interior dos envidraçados, visto ser possível a condensação destes que pode degradar alguns materiais.

Existe a possibilidade de se efetuar uma parede de Trombe ventilada com isolamento térmico pelo interior, sendo nesse caso transmitido o fluxo de calor apenas por convecção para o interior do compartimento podendo assim ser considerado como um sistema de ganho isolado. O ar exterior entra pelos orifícios do envidraçado, é pré-aquecido e entra para o compartimento pelos orifícios na parte superior da parede opaca. O efeito de acumulação de calor pode ser desprezável pois os ganhos de calor por convecção acontecem em simultâneo com os ganhos por radiação solar (Mendonça, 2005).

Parede de água

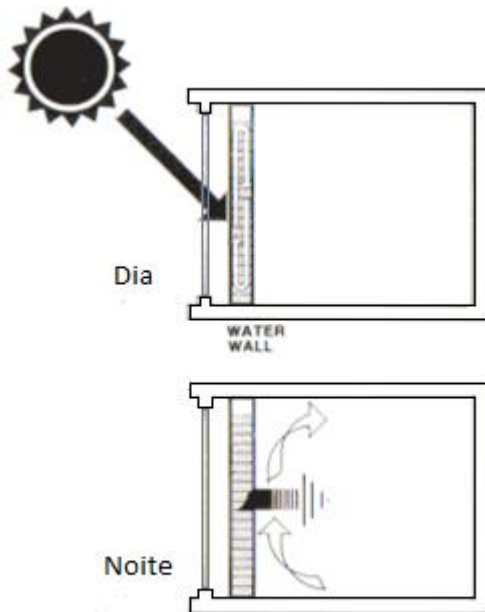


Figura 3.17: Esquema de funcionamento de uma parede de água durante o dia e durante a noite (Azsolarcenter, 1999)

A parede de água, ou coluna de água, é um sistema muito parecido à parede de Trombe. O elemento de armazenamento térmico, em vez de ser um material mais comum como o betão ou tijolo, é substituído por água, ou outro líquido, contido em recipientes estanques de cor escura capazes de absorver o máximo possível de radiação solar. Desse modo, originam calor, transmitido por radiação e convecção para o espaço que se pretende aquecer (Adams et al., 2010). Para se evitar perdas de calor nas noites de inverno do interior para o exterior e também para se evitar ganhos solares excessivos no verão, é normalmente integrado um isolamento móvel. A capacidade de armazenamento de calor deste tipo de parede é dez vezes superior, em comparação com paredes de alvenaria de tijolo furado e cinco vezes mais elevado que as paredes de betão. A sua grande condutibilidade térmica distingue-se pela forma como o calor é transmitido, facilitando que esta transferência de

calor se verifique de forma mais expedita. Assim, torna-se útil efetuar-se uma verificação e um controlo adicional na partição de calor no interior dos compartimentos, pela espessura e dimensão dos depósitos de água, ou pela colocação de isolamento durante o dia e retirando-se esse mesmo isolamento ao anoitecer. Isto não acontece nas paredes de Trombe pois existe um maior desfaseamento temporal entre a absorção de energia e a sua transferência para o interior (Mendonça, 2005).

Deve-se acrescentar à água agentes anticongelantes para que se evite que gele e que por sua vez se possam desenvolver fungos. No caso de recipientes metálicos, deve-se acrescentar óleos especiais próprios para evitar a corrosão destes. Os recipientes devem estar com 90% da sua capacidade de armazenamento, deixando os restantes 10% para que possa ocorrer a dilatação da água ao aquecer. Um inconveniente deste sistema é o risco de ocorrer um derrame da água armazenada e também do possível ruído da água a dilatar nas paredes dos depósitos. (Mendonça, 2005).

Coberturas de água

Este sistema caracteriza-se pela colocação de uma massa de água sobre uma laje de cobertura dos edifícios, estando esta água contida em recipientes, como nas paredes de água, exposta à radiação solar de modo a absorver e armazenar o calor. Por norma coloca-se uma cobertura plástica para impedir a perda de energia por convecção para o exterior. O material da parte interior da cobertura deve ter a capacidade de facilitar a condução de calor para o interior do edifício (Mendonça, 2005).

Usualmente é utilizado um isolamento móvel, de modo a reduzir as perdas de calor durante as noites de inverno (Figura 3.18), irradiando para o interior o calor que foi armazenado durante o dia e impedindo os ganhos excessivos durante os dias quentes de verão. Durante as noites de verão o isolamento móvel é retirado para que ocorra o arrefecimento da água, transferindo o calor armazenado para o exterior, contribuindo desse modo para o arrefecimento do ambiente interior (Mendonça, 2005).

Uma das principais vantagens desta abordagem é que permite que todos os compartimentos tenham a sua própria fonte de energia radiante com pouca preocupação sobre a orientação da estrutura ou pela maneira como foi construída (Mendonça, 2005).

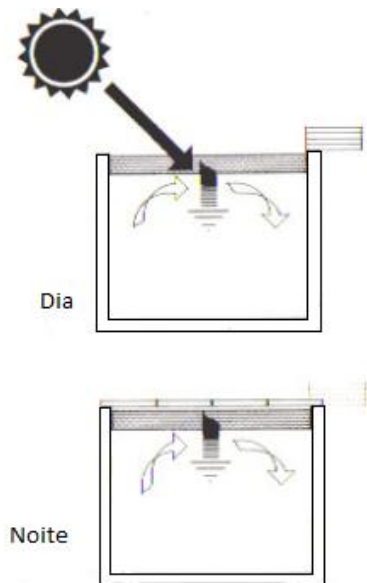


Figura 3.18: Esquema de funcionamento de cobertura de água de dia e de noite (Azsolarcenter, 1999)

Sistema de ganho indireto pelo pavimento

Este sistema é constituído por um elemento acumulador de calor que é colocado por baixo do pavimento do compartimento que se deseja climatizar. Este elemento acumulador pode ser constituído por pedras ou água e aquece através de um envidraçado exterior, na fachada sul, por radiação solar transmitindo de seguida a energia captada por condução e radiação (Rocheta e Farinha, 2007).

3.5.3. Sistemas de ganho isolado

Nos sistemas de ganho isolado, a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia recebida, geralmente não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que funcionam de forma autónoma ao mesmo. Os espaços estufa e os coletores de ar são exemplos deste sistema onde existe uma combinação de ganhos diretos e indiretos (Pinto e Dias 2015).

Estufas

Uma estufa é um espaço fechado, protegido por envidraçados, contendo no seu interior uma massa acumuladora térmica, regra geral o pavimento e a parede adjacente ao compartimento que se pretende climatizar. Neste sistema verifica-se a combinação de princípios térmicos de sistemas passivos diretos e indiretos (Pinto e Dias, 2015).

Para que este sistema funcione corretamente, devem ser cumpridos alguns requisitos, como a importância de ter as estufas orientadas a sul, reduzindo ao máximo as áreas envidraçadas orientadas a este, oeste e na cobertura, ou tornando estas áreas completamente opacas, visto que não fornecem suficiente calor no inverno e causam sobreaquecimento no verão e nas estações intermédias. Outro requisito é a necessidade de isolamento durante a noite, tanto na superfície envidraçada da estufa, como nas paredes e vãos que separam a estufa da habitação. Um exemplo de isolamento seria a utilização de um estore, proporcionando isolamento térmico noturno para minimizar as perdas de calor para o exterior (Pinto e Dias, 2015).

A estufa, para além de proporcionar ganho de energia proveniente da radiação solar direta, também possibilita ganhos consideráveis provenientes da radiação difusa, principalmente em dias de céu encoberto. Nos dias de fraca insolação ou durante a noite, a estufa desempenha a função de zona térmica intermediária (zona tampão), relativamente ao compartimento contíguo, contribuindo para a redução das perdas energéticas, desde que, como já indicado, sejam utilizados mecanismos móveis de isolamento (Pinto e Dias, 2015).



Figura 3.19: Moradia unifamiliar com estufa, à esquerda em situação de inverno e à direita em situação de verão, com proteção de vegetação (Gonçalves e Graça, 2004)

A estufa pode funcionar como ganho direto ao captar o calor e transmitir para o interior do edifício diretamente por circulação de ar, ou como ganho indireto, ao existir uma massa acumuladora com a função de reter esse calor e transmiti-lo por radiação para o interior (Moita, 2010) como se pode ver na Figura 3.20.

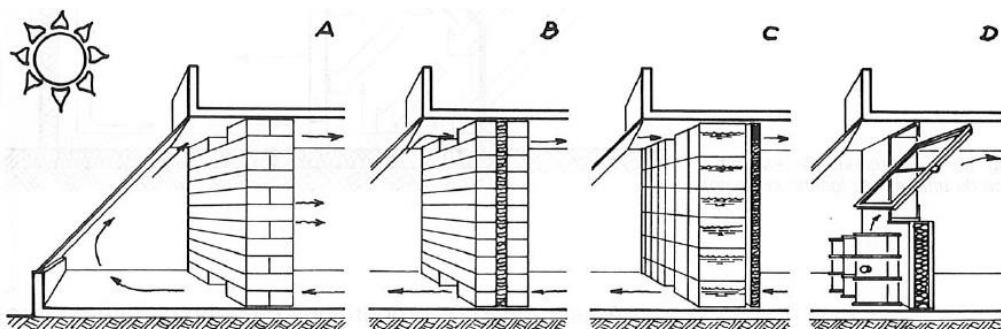


Figura 3.20: Várias configurações de estufa (Moita, 2010)

Em A, a transmissão térmica dá-se por convecção do ar ou por radiação através da parede de Trombe (ganho indireto). Em B e C existe isolamento térmico na parede acumuladora logo, a transmissão térmica acontece apenas por circulação do ar. Em D o aquecimento efetua-se por ganho direto e circulação do ar. Os contentores de água funcionam como massa térmica, ajudando a manter a temperatura a níveis constantes (Moita, 2010).

A área do envidraçado da estufa deve ser 30% a 90% da área do pavimento do espaço a aquecer, exigindo um equilíbrio para que não aconteçam excessos de temperatura ou elevadas amplitudes térmicas. As próprias estufas podem ter vários tipos de geometrias, mas possuem características térmicas semelhantes, pois tudo depende dos ganhos térmicos que são obtidos na massa térmica e na área de envidraçado. E quanto mais largas forem as estufas, menos sujeita ficará a sombreamentos indesejáveis. No entanto poderão ser aplicados sombreamentos de modo a proteger a estufa de sobreaquecimento no verão como a vegetação de folha caduca, forma mais simples, económica e de maior integração estética e ambiental (Moita, 2010).

A estufa deve ser executada de maneira a que possa ser isolada do edifício sempre que necessário. O isolamento móvel previne perdas térmicas desnecessárias, essencialmente nas noites de inverno ou em dias de céu encoberto. A humidade nesse espaço pode ser um problema e de modo a que esse fator seja controlado deve-se pensar num sistema de aquecimento auxiliar (Moita, 2010).

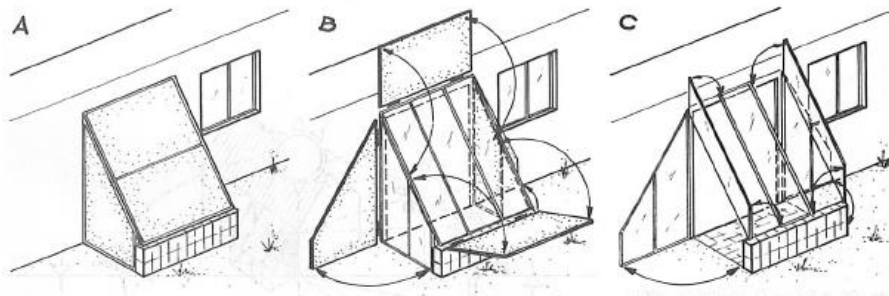


Figura 3.21: Esquema exemplificativo de processos de isolamento noturno (A e B) e desativação sazonal de uma estufa (C) (Moita, 2010)

No caso de edifícios de vários pisos, a construção de uma varanda com orientação a sul pode apresentar efeitos térmicos semelhantes aos das estufas que contribuem para melhores condições térmicas no ambiente interior (Moita 2010).

Como já foi indicado, a orientação é muito importante quando se projeta uma estufa, no entanto não é o único fator em que se tem de pensar. O tipo de estrutura e o material transparente escolhido para ser aplicado tem grande importância na conceção de uma estufa. Relativamente ao tipo de estrutura do caixilho, dependendo do material que se escolha, vai influenciar no fator de oclusão do sistema, ajudando que se retire um maior aproveitamento do espaço. Quanto à escolha do material transparente a ser utilizado, representa o fator mais importante a ter em consideração, pois está diretamente ligado à quantidade de energia que é transmitida e retida. As características de cada material relacionam a opacidade aos comprimentos de onda larga que por sua vez estabelece a intensidade do efeito estufa (Mendonça, 2005). Os materiais mais utilizados em estufas são o vidro e os plásticos.

Existem variadas configurações possíveis na incorporação de uma estufa num projeto de construção. Podem ser adossadas e, parcialmente ou totalmente, integradas no edifício. Relativamente às estufas adossadas, estas apenas partilham uma parede com a edificação, sendo esta configuração a mais flexível e a mais fácil de implementar em edifícios já existentes. No entanto, devido à maior área de envidraçado que este tipo de estufa possui, existe o risco da ocorrência de sobreaquecimento do compartimento, nomeadamente no verão. É assim, uma solução menos aconselhada do que as integradas no edifício (Moita, 2010).

No caso das estufas integradas, uma vez que a área de envidraçado é menor, as perdas térmicas do edifício e da estufa também o são. Outra vantagem é a fácil transferência de calor entre a estufa e a divisão adjacente, através da maior superfície de ligação entre ambos, reduzindo assim o custo final da construção por se conseguir construir edifícios mais compactos (Moita, 2010).

Através de estudos já efetuados para se perceber qual a configuração de estufa mais vantajosa para o clima português, concluiu-se que a melhor solução seria a estufa totalmente integrada no edifício, com orientação para sul, com uma ventilação natural da estufa e sombreamento interior refletor. Para as zonas mais a norte do país, é mais eficiente a aplicação de vidros duplos nos envidraçados de modo a manter espaço mais quente (Aelenei et al., 2014). Apesar dos bons resultados já observados, o sucesso da implementação de uma estufa depende muito do utilizador e do seu comportamento.

Como vantagens relativamente a este sistema tem-se (Mendonça, 2005);

- As estufas atuam como espaço tampão do edifício, reduzindo as perdas de calor;
- Pequena variação de temperaturas dia/noite;
- Adaptação fácil de estufas adossadas a edifícios já existentes, aumentando a superfície habitável;

Relativamente às desvantagens, são elas (Mendonça, 2005);

- A eficácia térmica de uma estufa varia muito com o desenho da mesma, tornando-se difícil a previsão do comportamento desta;
- Custo elevado na construção de estufas com grande eficácia térmica devido às grandes superfícies a isolar durante a noite;
- Grande oscilação de temperatura dentro de uma estufa;

Coletores de Ar

Os coletores de ar são constituídos por duas superfícies de vidro, uma exterior e uma interior, sem qualquer capacidade de armazenamento térmico. O seu funcionamento em termosifão permite ventilar os espaços interiores adjacentes ao longo do ano (Gonçalves e Graça, 2004).

Durante o inverno, o ar frio entra pela abertura exterior na zona inferior do coletor, aumentando de temperatura no interior deste, sendo introduzido no espaço confinante aquecendo-o, sempre que for necessário. Enquanto que no verão, o ar quente do interior do compartimento é extraído para o exterior.

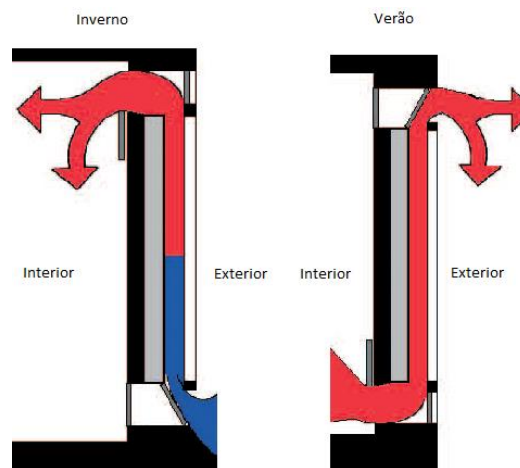


Figura 3.22: Funcionamento do coletor de ar no inverno e no verão (Gonçalves e Graça, 2004)

Para evitar as situações de sobreaquecimento devem ser instalados sistemas de controlo de entrada e saída de ar no interior dos edifícios. É um sistema com algumas desvantagens pois necessita de conceções cuidadas que podem encarecer demais a construção. Assim considera-se benéfica a combinação de vários sistemas solares passivos, de modo a combater as desvantagens de cada sistema especificamente (Moita, 2010).

Sistema Barra-Constantini

Neste sistema a fachada com orientação a sul é isolada e funciona como coletor de ar. O ar aquecido flui pelas placas ocas de betão, sendo estes o principal elemento coletor de calor do sistema, fluindo depois de volta para as entradas inferiores da parede acumuladora como se pode ver na Figura 3.23. Durante o dia, existe uma boa circulação natural auto-reguladora. De noite deve-se impedir que ocorra o fluxo inverso para que não aconteçam perdas de calor e condensações no coletor (Carbonari, 2003).

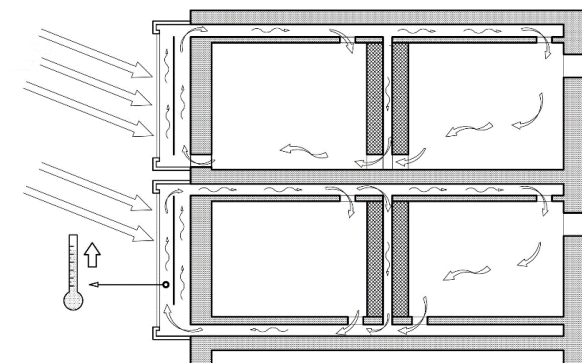


Figura 3.23: Esquema de funcionamento de sistema Barra-Constantini (Ecoedility, sem data)

3.6. Sistemas passivos de arrefecimento

À semelhança do referido para as estratégias de aquecimento passivo, também as estratégias de arrefecimento passivo não recorrem a meios ativos de climatização (com consumo de energia) para alcançar o conforto no interior. A orientação solar é também aqui um fator determinante para o desenvolvimento destas estratégias que se baseiam principalmente na ventilação natural e no controlo da radiação solar direta das superfícies envidraçadas, quer sejam com recurso a elementos fixos como palas, ou dispositivos móveis como os estores, embora existam outros meios passivos de fazer o arrefecimento. O arrefecimento passivo pode ainda ser feito por outros meios, como o arrefecimento pelo solo, arrefecimento evaporativo e arrefecimento radiativo. Existem ainda outros aspetos que irão influenciar o arrefecimento natural, como por exemplo o desempenho energético dos caixilhos, o tipo de vidro existente, o tipo e utilização de proteção dos vãos, a existência de vegetação, a presença de água e a utilização de cores claras nas superfícies (por absorverem menos radiação) (Delorme et al., sem data).

Pode-se assim dividir as técnicas de arrefecimento passivo em dois grandes grupos: as que limitam as cargas térmicas (cargas solares, cargas internas, etc.) e as que contribuem para a remoção das cargas térmicas para outros ambientes como o solo, água, ar, etc.

Em climas secos é preferível uma construção mais compacta, com um menor fator de forma, ou seja, com menos saliências e reentrâncias, uma reduzida superfície exterior, espaços interiores parcial ou mesmo totalmente enterrados e paredes exteriores espessas com grande inércia e de cor clara de modo a refletir a radiação solar. Também é frequente o uso de pátios interiores, fontes ou lagos que criem um ambiente mais húmido perto do edifício (Mendonça, 2005).

Por outro lado, em climas quentes e húmidos é preferível uma construção dispersa, com aberturas amplas que favoreçam a ventilação natural e com uma maior área exterior constituída por paredes mais ligeiras (Mendonça, 2005).

Podem ser usados vários métodos para arrefecer um edifício e da mesma forma que os sistemas passivos de aquecimento, os sistemas passivos de arrefecimento dividem-se em arrefecimento direto, indireto, isolado ou combinados, conforme a situação. Tudo depende do local, clima disponível, materiais, soluções construtivas e custos. E tem grande importância considerar estas questões ainda na fase de projeto, pois num edifício existente, os benefícios destes sistemas são facilmente conseguidos pelo desenho do próprio edifício, que pode não ser compatível, para além dos custos associados a obras de adaptação (Gonçalves e Graça, 2004).

3.6.1. Sistemas de arrefecimento direto

O arrefecimento direto inclui a proteção solar e todos os procedimentos utilizados para arrefecer um espaço, colocando esse mesmo espaço em contato direto com a fonte fria, que tanto pode ser o ambiente exterior mais fresco noturno, pavimento subterrâneo, a água ou até pelo processo de

evaporação desta. A refrigeração direta inclui sistemas como a proteção solar, a ventilação, o arrefecimento pelo solo, arrefecimento por evaporação de água e arrefecimento por desumidificação.

Proteção solar

A proteção solar por meio de sombreamentos é a forma mais eficaz de reduzir ganhos de calor devido à excessiva radiação solar durante os dias de verão. A elaboração de um dispositivo de sombreamento leva em consideração a altura e inclinação do sol durante o ano, de forma a se tirar o melhor proveito do mesmo. Esse sombreamento pode ser obtido por elementos naturais, como vegetação de folha caduca que permite a passagem dos raios solares no inverno, mas bloqueia a radiação solar no verão, como demonstra a Figura 3.24. Podem ainda ser usadas plantas trepadeiras que servem de proteção térmica para fachadas ou vegetação de folhagem persistente e espessa, de grande ou pequeno porte, que serve como barreira protetora dos ventos dominantes (Moita, 2010).

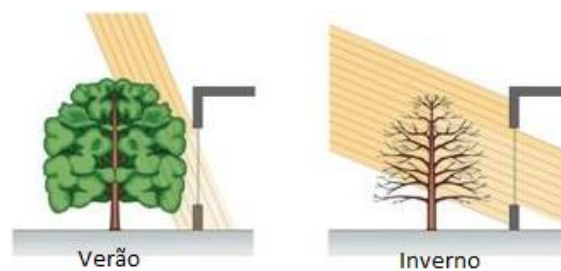


Figura 3.24: Sombreamento com árvore de folha caduca no caso de verão e inverno (Planetacad, 2010)

Também é possível obter essa proteção solar através da concepção arquitetônica do edifício, da orientação dos vãos, da posição do edifício em relação a outras construções e através da própria volumetria e forma da construção. Existem também diversos elementos construtivos e acessórios que podem fornecer o desejado sombreamento como palas (metálicas, de betão ou de pedra) e estores manobráveis (solução de reduzido peso e custo) que proporcionam vários graus de transparência e regulação do fluxo de radiação solar (Gonçalves e Cabrito, 2005).

As estruturas de sombreamento externo são cerca de 70% mais eficazes que proteções solares interiores, apesar de mais dispendiosos, pois impedem a radiação solar de atingir os envidraçados. Por outro lado, os dispositivos interiores têm a vantagem se serem mais económicos em termos de manutenção e instalação com o benefício de serem mais fáceis de ajustar a qualquer situação. No caso de dispositivos instalados no interior de vãos envidraçados de vidro duplo e com aberturas de ventilação para o exterior, combina-se as vantagens dos dois casos referidos. Por sua vez, as palas, quando projetadas corretamente, são uma solução interessante pois permite sombrear no verão e não impede a entrada de radiação solar no inverno (Gonçalves e Cabrito, 2005).

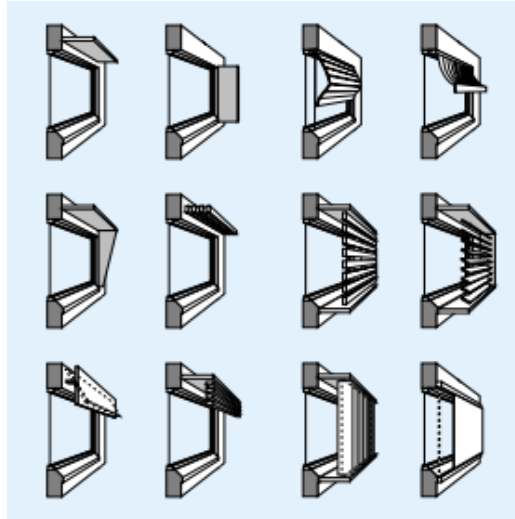


Figura 3.25: Exemplos de dispositivos de proteção solar de janelas (Stack, 2005)

Outro fator a ter em consideração é se os dispositivos serão móveis ou fixos, sendo usual utilizar-se os fixos para o exterior, de modo a promover proteção da radiação solar, e os móveis no interior, que estão mais ligados à questão da iluminação. Logo, o uso destes dispositivos de sombreamento e proteção regulável têm uma elevada importância, seja para reduzir as perdas de calor por transmissão no inverno, como para controlar a entrada de calor no verão (Stack, 2005).

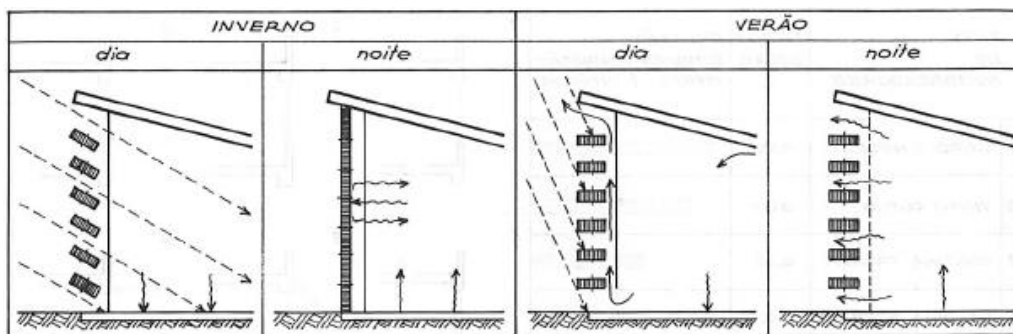


Figura 3.26: Esquema de proteção solar que funciona como isolamento térmico noturno no inverno e refrigerador no verão (Moita, 2010)

A orientação também tem um papel muito importante, pois vai influenciar os ganhos solares que o edifício vai obter. O sombreamento de envidraçados orientados a sul são os mais fáceis de se conseguir, utilizando elementos horizontais projetados, como toldos, palas horizontais ou refletoras, vãos recuados, etc.

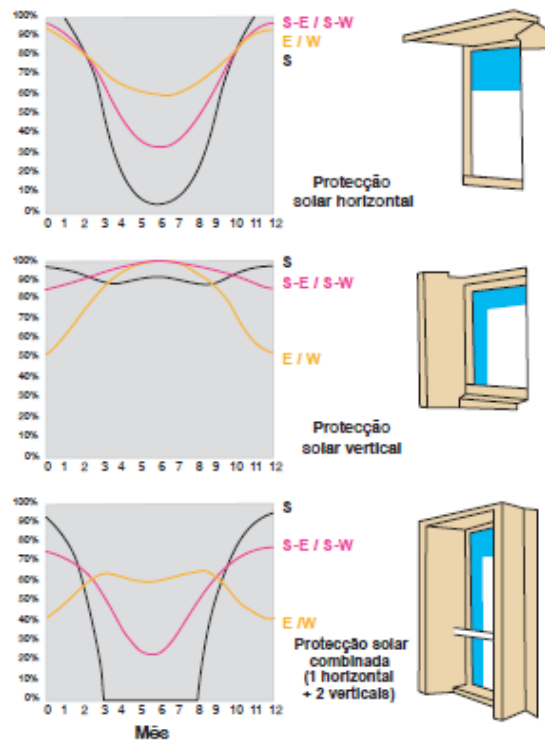


Figura 3.27: Eficácia de diferentes elementos de sombreamento, em função da geometria do dispositivo, da orientação da fachada e do período do ano (Gonçalves e Cabrito, 2005)

Quando orientados a norte, estes elementos horizontais não desempenham a sua função de sombreamento, sendo mais útil o uso de palas verticais ou janelas recuadas, para que se bloqueie o Sol baixo do início da manhã e/ou fim de tarde das envolventes orientadas a sul. As janelas orientadas a este e oeste são, sem dúvida, os casos mais gravosos e que denotam mais preocupação no verão. Ao se sombrear nestas orientações, evita-se a entrada de raios solares quando o sol está mais baixo, visto que, durante o verão, são as horas de maiores ganhos, pois as radiações incidem perpendicularmente nos envidraçados. É, portanto, de evitar a escolha de palas horizontais neste caso, sendo sempre uma boa solução a escolha de estores móveis verticais exteriores de lâminas ou PVC (Mendonça, 2005).

É importante não esquecer que deve haver proteção solar nas superfícies opacas, principalmente nas superfícies da envolvente do edifício que estão mais expostas à radiação solar, como os revestimentos exteriores. No caso de não ser possível o uso de dispositivos de sombreamento que sejam eficazes, é significativo a escolha de superfícies exteriores com baixo coeficiente de absorção.

Ventilação Natural

Chama-se ventilação natural à renovação do ar interior por novo ar vindo do exterior, através de aberturas na envolvente, que podem ser reguladas automaticamente ou manualmente por meio de mecanismos naturais do vento e do movimento de ar devido a diferenças de pressão e temperatura. A

dissipação do calor acontece quando a temperatura exterior é mais baixa que a interior, nomeadamente nas primeiras e nas últimas horas do dia. As aberturas na envolvente devem ser bem dimensionadas e corretamente posicionadas, ou seja, a superfície de fachada de maior área e as aberturas de maior dimensão, deverão estar na zona que recebe vento durante a estação de arrefecimento para que se possa otimizar a ventilação natural do edifício. Uma ajuda para que isso aconteça é a instalação de grelhas autorreguláveis em portas, nas caixilharias dos envidraçados, na caixa de estores (se existir), ou na parede envolvente (Kleiven, 2003).

Um parâmetro quantificado na taxa de ventilação de espaços interiores é o número de renovações horárias, *Rph*. Este parâmetro está relacionado com o caudal volúmico de ventilação. Representa o número de vezes que o ar de um espaço é renovado em cada hora.

O REH exige que o valor mínimo de renovações horárias por hora cumpra o estipulado na Norma Portuguesa NP 1037-1, onde define que nos compartimentos principais ocorra uma renovação por hora, enquanto que nos compartimentos de serviço seja de 4 renovações por hora (Instituto Português da Qualidade, 2002).

É de notar que a implantação e disposição dos edifícios têm uma grande influência na promoção ou diminuição da ventilação que neles ocorre como se pode verificar na Figura 3.28. No caso dos edifícios dispostos linearmente, apenas os edifícios onde o vento incide primeiro tiram proveito da ventilação natural. Nos edifícios a 45° da direção do vento todos eles têm pelo menos uma fachada onde ocorre essa ventilação enquanto que nos edifícios dispostos de maneira intercalada, incide mais vento melhorando os índices de ventilação (Lamberts e Triana, 2007).

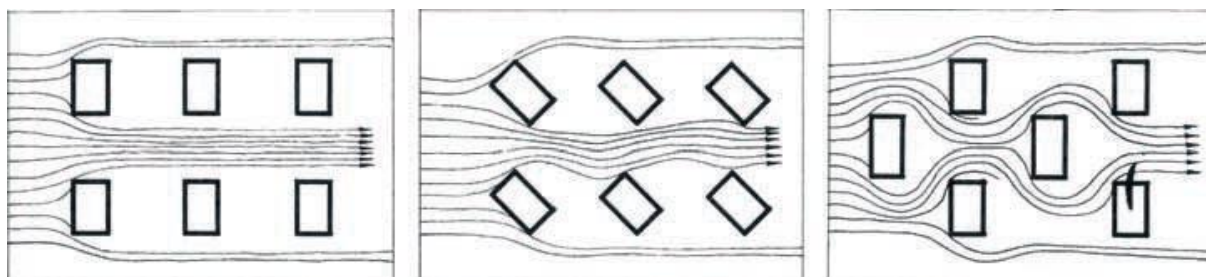


Figura 3.28: Fluxo dos ventos com edifícios dispostos de forma linear (esquerda), a 45° da direção do vento (centro) e de maneira intercalada (Lamberts e Triana, 2007)

É importante, num clima como o português, aproveitar as amplitudes térmicas que ocorrem durante a noite e início da manhã para se conseguir um arrefecimento passivo eficiente. A ventilação natural reduz assim, os extremos de temperatura que a inércia térmica não é capaz de reduzir. Esta solução intrínseca nos costumes portugueses, não tem custo de instalação, manutenção ou consumo de energia.

Existem diversas formas de promover a ventilação natural nos edifícios, sendo elas o sistema de ventilação cruzada, a ventilação induzida por estratificação ou efeito chaminé, câmara solar ou chaminé solar, o aspirador estático e por último a torre de vento.

- Ventilação cruzada:

O sistema de ventilação cruzada consiste em proporcionar o movimento de ar de um espaço ou de vários espaços interligados, ao se colocar aberturas em fachadas opostas. É aconselhável que se opte por este sistema em climas secos e temperados, principalmente para arrefecimento noturno no verão. As aberturas devem ser efetuadas nas fachadas em comunicação com o exterior e que possuam condições de exposição ao vento e de radiação diferentes (Kleiven, 2003).

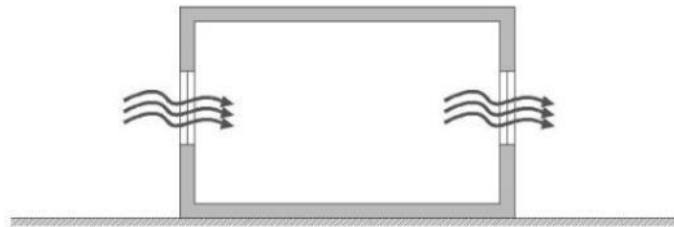


Figura 3.29: Esquema de sistema de ventilação cruzada (Mendonça, 2005)

- Ventilação induzida ou efeito chaminé:

Este sistema é baseado no efeito de estratificação do ar nos edifícios que pode favorecer a ventilação no interior quando não existe vento no exterior. Colocam-se aberturas em níveis diferentes, uma inferior e outra superior, produzindo um circuito no qual o ar quente sai pela abertura superior e o ar mais fresco exterior entra pela abertura do nível inferior. Isto dá-se devido ao fato de o ar quente ser menos denso que o ar frio, logo não ocorre a inversão do percurso do ar. É portanto importante que haja uma diferença de temperatura entre o ar no exterior e o ar no nível superior interior para que se possa tirar proveito deste sistema (Kleiven, 2003).

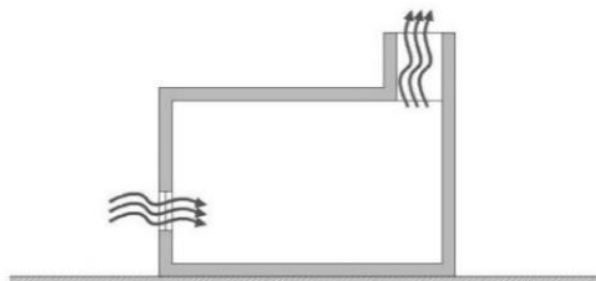


Figura 3.30: Esquema do sistema com efeito de chaminé (Mendonça, 2005)

- Câmara solar ou chaminé solar:

Pode-se dizer que tem a mesma função que uma chaminé comum, com a adição do propósito de eliminar ar quente interior. É aplicado na cobertura do espaço a climatizar uma câmara-de-ar com um captador de radiação solar de cor escura protegido por um invólucro de vidro como esquematizado na Figura 3.31. Assim o ar presente na câmara é aquecido, tornando-se menos denso, obrigando a sua saída do interior por estratificação do ar. Logo quanto maior a radiação solar incidente, maior será o rendimento das chaminés solares e maior será a eficácia do sistema. É necessária uma boa orientação para maior intensidade de radiação solar, que poderá ser para sul, este ou oeste. No entanto, se a temperatura exterior for elevada não se gera uma boa extração de ar por efeito chaminé, ou seja, assim como na ventilação induzida, é essencial que exista uma diferença de temperatura do exterior e do ar quente na zona mais alta do espaço habitado (Kleiven, 2003).

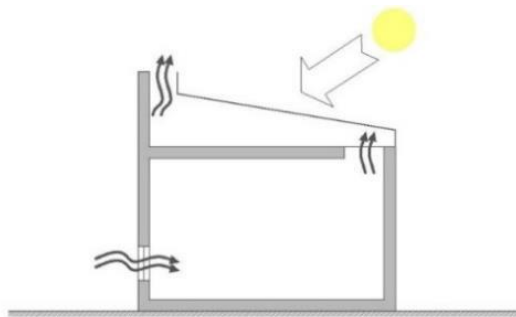


Figura 3.31: Esquema do sistema de câmara solar na cobertura (Mendonça, 2005)

- Aspirador estático:

O aspirador estático é um sistema que cria movimento de ar no interior do espaço a partir de uma extração de ar na cobertura, que é combinada com a entrada de ar exterior pela parte inferior do circuito. Estes aspiradores produzem uma depressão no ar interior devido à sucção produzida por um dispositivo estático situado na cobertura, demonstrado na Figura 3.32. Assim, o vento ao atravessar o aspirador vai criar o efeito Venturi, aspirando o ar quente interior (Kleiven, 2003).

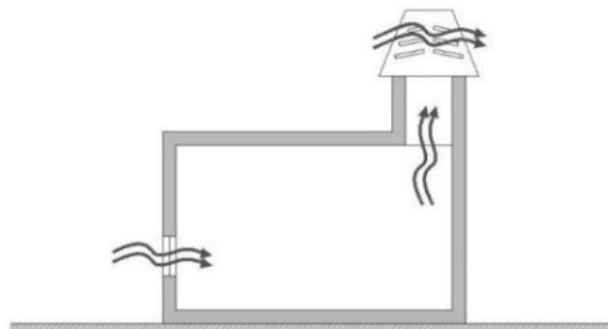


Figura 3.32: Esquema de sistema de ventilação com aspirado estático (Mendonça, 2005)

- Torre de vento:

Esta é uma técnica que funciona ao contrário dos sistemas mencionados anteriormente. Neste caso a introdução de ar exterior no interior do edifício acontece através da torre, que se encontra a uma maior altura que a cobertura, para que dessa forma seja possível a recolha de vento onde este é mais intenso. Uma vez captado esse vento, é transferido para a parte inferior do edifício através do uso de condutas. Pode acontecer que numa determinada zona, o vento apresente uma direção dominante. Perante essa situação a torre irá possuir apenas uma abertura orientada no sentido do vento. Contudo, quando o vento não tem uma direção específica, a torre possui mais aberturas para que possa captar uma maior quantidade de ar exterior. É apropriada a utilização deste sistema em climas quentes, com ventos frequentes e intensos, visto ser um fator essencial para o seu uso (Kleiven, 2003).

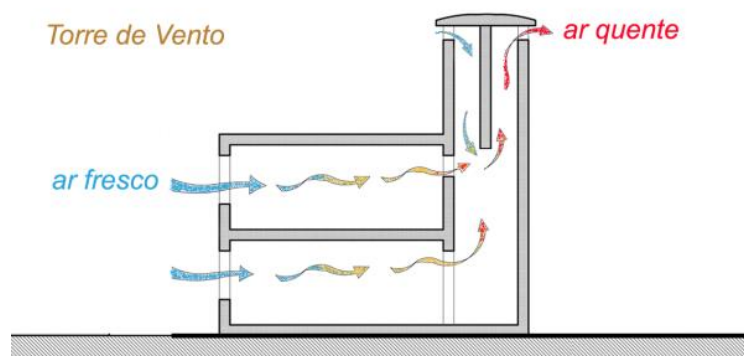


Figura 3.33: Esquema do sistema torre de vento (Sustentarqui, 2014)

Resumindo, a ventilação natural tem um papel muito importante na remoção do calor do interior do edifício e ao estabelecer boas condições de conforto térmico, seja por diminuir a temperatura interior, mas também por acelerar a renovação do ar. No entanto, apresenta algumas desvantagens, como a dificuldade de controlar o caudal ou o escoamento do ar, uma vez que estão dependentes das condições meteorológicas e das diferenças de pressão resultantes da variação da temperatura e do vento. Esse descontrolo de caudal pode originar desconforto nos ocupantes, devido às correntes de ar que podem surgir, e às perdas energéticas durante o inverno.

Arrefecimento pelo solo

Uma maneira de se obter benefícios das características térmicas do solo é através de construções enterradas, uma vez que o solo mantém a sua temperatura constante ao longo do ano, apenas variando em função da latitude e da profundidade. Este fator ajuda que no verão o solo se encontre a uma temperatura mais baixa do que o exterior, o que por sua vez promove o arrefecimento do ambiente interior do edifício. Enquanto que no inverno acontece o oposto, pois o solo encontra-se a uma temperatura mais elevada que a da atmosfera exterior, aquecendo as partes enterradas do edifício.

Terrenos com desníveis contribuem para uma maior facilidade em enterrar partes do edifício, aumentando o contato com o solo (Mendonça, 2005).

Pode-se realizar este sistema através de tubos enterrados no solo que estão conectados ao interior do edifício, com orifícios por onde circula o ar a uma temperatura mais baixa que a do ar exterior como se pode observar na Figura 3.34.

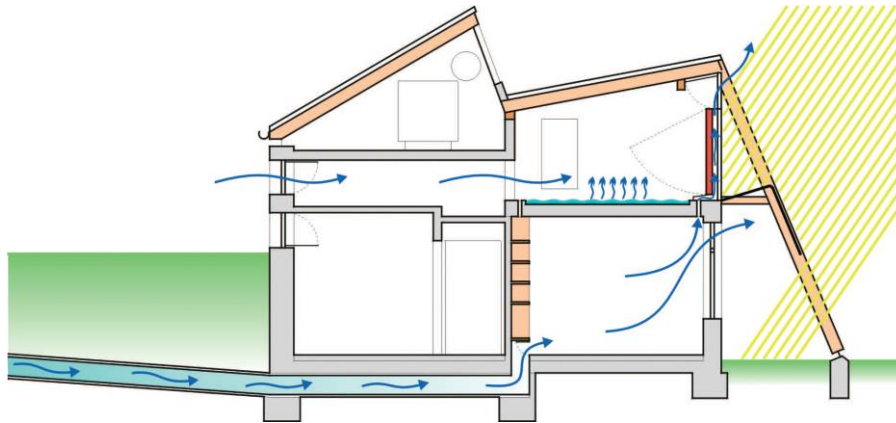


Figura 3.34: Entrada de tubos e orifícios no interior da casa Solar em Porto Santo do Arq.º Gunther Ludewig (Gonçalves e Graça, 2004)

Arrefecimento evaporativo

Este sistema baseia-se na diminuição da temperatura relacionada à passagem da água do estado líquido para o gasoso, ou seja, recorre-se à evaporação da água para refrigerar um espaço. Neste processo, a água absorve energia em forma de calor latente de evaporação sem aumentar a sua temperatura. Assim aumenta-se o nível de conforto durante o verão, ao tornar o espaço mais fresco e húmido. Para que funcione da forma mais correta, é necessário que exista uma grande área de contato entre o ar e a água como espelhos de água, piscinas ou lagos e ainda se torna possível otimizar este sistema se a água estiver em movimento, como no caso de fontes (Gonçalves e Graça, 2004).

É uma boa solução para o clima português, pois retira-se um maior aproveitamento deste sistema quando a incidência solar é mais intensa. Outra vantagem é o facto de existirem várias opções e muito atrativas, tornando a sua utilização muito versátil.

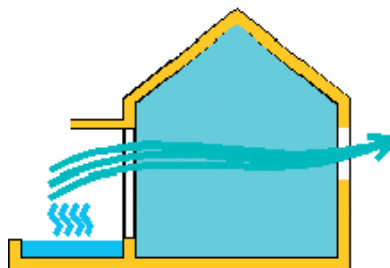


Figura 3.35: Esquema de funcionamento do arrefecimento evaporativo (Gonçalves e Graça, 2004)

Arrefecimento por desumidificação

Esta solução só deverá ser usada em climas quentes e húmidos e define-se pelo uso de materiais porosos, que captam a humidade do ar. O corpo humano perde energia em excesso por evaporação através do suor e nestes climas torna-se mais difícil o suor se evaporar devido à humidade. Assim o corpo encontra-se em desconforto por excesso de calor. Se o ar húmido atravessar um material com função desumidificadora, o vapor de água irá ser absorvido e o ar seca. No entanto, este processo liberta energia o que faz o ar aquecer. É necessária uma superfície de baixa temperatura que absorva esta energia e mantenha o conforto interior. Quando esse material desumidificador fica saturado de água, faz-se passar através dele uma corrente de ar quente que fará a secagem desse material, permitindo a continuação do processo de desumidificação (Mendonça, 2005).

Os materiais desumidificadores mais utilizados e usuais são a alumina e o gel de sílica (Mendonça, 2005).

3.6.2. Sistemas de arrefecimento indireto

Os sistemas de arrefecimento passivo indireto utilizam elementos como uma superfície radiante ou um elemento de armazenamento térmico, que absorvem o calor do edifício e o arrefecem transmitindo energia para o exterior ou permitindo o fluxo de ar fresco através dele. Existem dois sistemas de arrefecimento indireto que são a radiação e a ventilação noturna dos elementos armazenadores de calor.

Arrefecimento radiativo

Entre dois corpos existe sempre uma transferência de calor por radiação, feita do corpo com a temperatura mais elevada para o corpo mais frio. Este fenómeno pode ser aplicado no arrefecimento de edifícios. As perdas por radiação são um processo contínuo pois acontecem tanto de dia como de noite, apesar de ser durante o período noturno que os seus efeitos se fazem sentir com mais intensidade devido à ausência de radiação solar direta (Mendonça, 2005).

Podem-se criar condições para o arrefecimento de um edifício através da utilização da cobertura como elemento térmico. As coberturas horizontais são elementos com grande exposição exterior, favorecendo assim as trocas radiativas. No entanto, geralmente é aplicado isolamento térmico nestas envolventes para minimizar perdas térmicas no inverno e ganhos no verão, reduzindo o arrefecimento radiativo noturno. Ao se instalar um isolamento móvel que só é ativado durante o dia para evitar ganhos significativos de calor combate-se essa problemática, otimizando assim o arrefecimento radiativo durante a noite (Gonçalves e Graça, 2004). Em edifícios constituídos com vários pisos, apenas nos últimos se irão sentir os benefícios deste sistema.

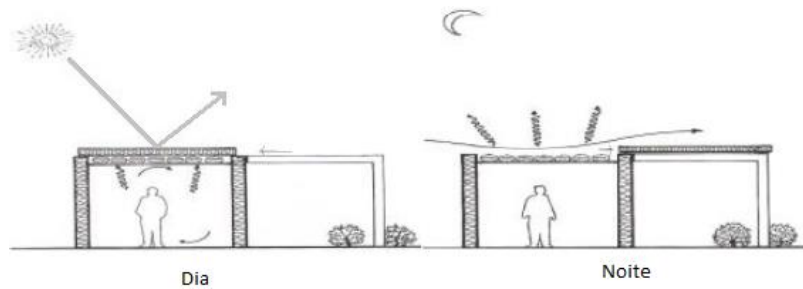


Figura 3.36: Esquema de funcionamento do arrefecimento radiativo durante o dia e à noite (Lechner, 2006)

Arrefecimento por ventilação noturna dos elementos de armazenamento térmico

O arrefecimento por ventilação noturna consiste em fazer circular o ar fresco das horas noturnas e das primeiras horas da manhã, refrescando tanto as divisões interiores com os elementos de armazenamento térmico. Estes elementos irão armazenar o calor durante o dia, arrefecendo os espaços interiores. Quanto menor a temperatura durante a noite, mais eficiente o sistema se torna (Mendonça, 2005).

Uma variante deste sistema consiste na utilização de um leito de pedras localizado sob o espaço a climatizar. O ar fresco vindo do exterior arrefece as pedras durante o período noturno enquanto que durante o dia o calor do exterior atravessa as pedras, perdendo parte da energia e refrigerando o ambiente (Mendonça, 2005).

3.6.3. Sistemas de arrefecimento isolado

O arrefecimento passivo isolado consiste na climatização do ambiente interior de um edifício através de uma área isolada. A fonte de arrefecimento pode ser o solo, um leito de pedras ou água e a metodologia deste sistema é fazer com que o ar exterior circule por uma tubagem que esteja enterrada ou submersa. Por sua vez o ar arrefecerá quanto maior for o percurso que este tem de percorrer antes de chegar ao edifício. Estas tubagens de refrigeração podem fazer parte de um sistema aberto que arrefeça o ar exterior, ou fechado que arrefeça o ar interior no edifício (Mendonça, 2005).

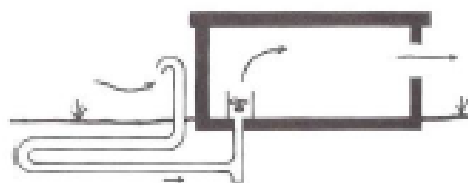


Figura 3.37: Esquema de funcionamento do arrefecimento isolado por meio de tubagens (Lechner, 2006)

3.7. Aplicação dos sistemas solares passivos em Portugal

As necessidades de aquecimento no norte da Europa ainda são bastante significativas, ao contrário do sul da Europa onde as necessidades para aquecimento no sector residencial são reduzidas. Por sua vez, as necessidades de arrefecimento têm uma maior importância e têm aumentado exponencialmente. Surge assim um aumento no interesse da aplicação de sistemas de arrefecimento e aquecimento passivo.

Fazer uma análise detalhada do clima português torna-se imprescindível para se efetuar o planeamento e construção de um edifício, uma vez que os dados climáticos exercem um papel determinante no desempenho da edificação. Esse desempenho está relacionado com a transferência de calor que acontece devido aos materiais escolhidos, que definem a qualidade do ambiente interior. A transferência de calor vai influenciar a temperatura do ar interior, a temperatura média radiante, a ventilação e a humidade.

Portugal Continental está localizado entre as latitudes de 37°N e 42°N e as longitudes de 9.5°W e 6.5°W, no ponto mais Sudoeste da Europa, com um clima extremamente influenciado pela proximidade ao Oceano Atlântico. Apresenta uma região que se estende mais latitudinalmente do que longitudinalmente, onde as regiões localizadas no interior distam cerca de 220 km do Oceano, o que faz com que algumas dessas regiões apresentem características climáticas do tipo continental. Para além da latitude e da proximidade do oceano, a orografia da região também constitui um fator climático importante. Em Portugal, existem áreas significativas das zonas Norte e Centro que ultrapassam os 1000 metros de altitude. Estas pequenas variações entre fatores climáticos são suficientes para que se faça sentir uma diferença na temperatura e na precipitação nas diferentes zonas do país (Miranda et al., 2006).

Portugal tem um clima privilegiado e temperado, com invernos moderadamente frios, verões quentes e grandes amplitudes térmicas diárias. O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) classifica o país em diferentes zonas climáticas o que representa as variações que ocorrem no clima português. O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, seguido das suas mais recentes retificações, estabelece o REH, onde são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3), que ajudam na aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente do edifício em termos de coeficiente de transmissão térmica.

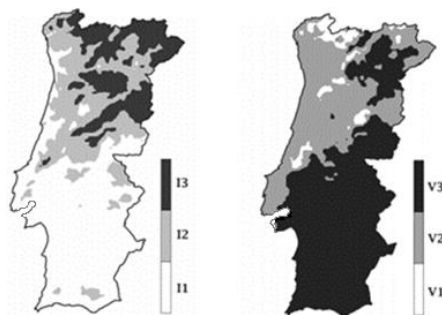


Figura 3.38: Zonas climáticas de Portugal Continental, de inverno (esquerda) e verão (direita) (Despacho (Extrato) n.º 15793-F 2013)

As zonas climáticas de inverno referem-se à estação de aquecimento e são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18°C como indicado na Tabela 3-3, onde são referidas as zonas climáticas representadas na Figura 3.38.

Tabela 3-3: Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho (Extrato) no 15793-F 2013)

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD \geq 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão referem-se à estação de arrefecimento e são definidas a partir da temperatura média exterior (θ_{ext}) como indicado na Tabela 3-4, onde são referidas as zonas climáticas representadas na Figura 3.40.

Tabela 3-4: Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho (Extrato) no 15793-F 2013)

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Logo, Portugal é um país com bons níveis de insolação que promove o aproveitamento de energia solar nos edifícios. Isso tem sido aplicado na construção portuguesa desde há vários séculos. Pode-se observar na arquitetura tradicional elementos de captação solar, seja na forma dos edifícios, seja nos materiais. Paredes com pedras escuras ou edifícios com uma escolha cuidada da sua orientação são exemplos dessa preocupação com a radiação solar como se pode verificar nos sequeiros do Minho, orientados usualmente no quadrante sudoeste de forma a captarem radiação solar nas horas mais intensas (Araújo e Almeida, 2006).



Figura 3.39: Sequeiro do Minho (Araújo e Almeida, 2006)

Também o uso de varandas reflete as preocupações térmicas que se tinha antigamente, uma vez que estas forneciam proteção da chuva no inverno e da radiação solar no verão. As varandas envidraçadas, que surgiram a partir do século XIX, são um exemplo de um sistema passivo na arquitetura tradicional, usado para aumentar o rendimento térmico dos edifícios (Araújo e Almeida, 2006).

No Sul de Portugal é habitual verem-se casas caiadas de branco, de modo a refletir com mais eficiência a radiação solar, demonstrando, novamente, a aplicação de técnicas passivas. Também se pode ver janelas mais pequenas e usualmente recuadas em relação às fachadas de modo a obterem sombreamento durante o verão (Araújo e Almeida, 2006)



Figura 3.40: Casa típica alentejana, caiada de branco de modo a refletir a radiação solar (Panoramio, sem data)

Foi apenas na década de 1980, devido à crise energética que havia no mundo e que chegava a Portugal, que arquitetos e engenheiros, ligados ao setor da energia, começaram a demonstrar uma preocupação mais acentuada na construção de edifícios incorporando sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento. Um dos projetos pioneiros foi a “Casa Termicamente Otimizada” no Porto, construída em 1984 pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) juntamente com a FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).



Figura 3.41: Casa Termicamente Otimizada, no Porto (Gonçalves e Graça, 2004)

É um projeto que leva em consideração um conjunto de conceitos e propostas de solução que asseguram as melhores condições de conforto com um baixo consumo energético. Maximiza os

recursos energéticos fornecidos pelo ambiente, como o Sol, temperatura do ar e proteção do terreno. A maior parte dos compartimentos estão adossados à maior fachada exposta a sul, de modo a obter os maiores ganhos solares no inverno e ter facilidade de sombreamento no verão. Devido à elevação do terreno na fachada norte, ajudou para que essa mesma fachada possuísse poucas aberturas, estando assim protegida dos ventos frios provenientes desse quadrante. Para ajudar o conforto durante o verão, foram minimizadas as aberturas a este e oeste, controlando as radiações solares através de sombreadores móveis. Teve-se muita atenção à inércia térmica, visto ser um fator importante para o armazenamento e transferência de calor, sendo conseguida por meio de paredes de trombe com o propósito de captar, armazenar e transferir o calor obtido através da radiação solar. Também o pavimento do piso térreo, exposto à maior área de envidraçados, é constituído por uma laje maciça com revestimento cerâmico e coberta parcialmente por tapetes. Com estas características, conseguiu-se com que a temperatura mínima no inverno fosse de 15°C e que a temperatura máxima no verão 25°C (Gonçalves e Graça, 2004).

Em 1986, foi projetada pelo arquiteto Fausto Simões, a Casa Solar Passiva de Vale Rosal, na Charneca da Caparica, Almada. Nesta habitação são incorporados os sistemas de ganho direto e indireto, mais especificamente, a parede de trombe não ventilada e uma estufa. O sistema de ganho direto é integrado nos quartos e também nas zonas mais utilizadas durante dia enquanto que a parede de trombe foi aplicada num quarto com uso noturno. Esta parede capta e armazena calor não só através da radiação solar, mas também através dos gases de escape da lareira, uma vez que a parede se encontra na prumada desta e é atravessada pela fuga. A estufa encontra-se com orientação para o quadrante sul, estando protegida por vegetação de folha caduca durante o verão (Simões, 1988).



Figura 3.42: Casa Solar Passiva de Vale Rosal (Foto do autor, 2018)



Figura 3.43: Corte representativo da conjugação da parede de trombe com a fuga da lareira na Casa Solar Passiva de Vale Rosal (Simões, 1988)

Outro exemplo já referido anteriormente é a Casa Schafer, situada na ilha de Porto Santo, construída em 1988 e projetada pelo arquiteto Gunther Shafer. Devido à sua localização, foram aplicados sistemas e técnicas que proporcionassem uma melhor adaptação ao clima local. Para além da fachada principal estar direcionada para sul, assim como a existência de claraboias orientadas para esse quadrante de modo a obter mais ganhos solares, a fachada norte encontra-se parcialmente enterrada, protegida assim de ventos frios. O sombreamento para a estação de arrefecimento é feito por meio de uma pala na claraboia e beirados salientes, protegendo assim os envidraçados. A habitação está também focada na ventilação natural, possuindo um sistema de cinco tubos enterrados, com as entradas destes na fachada enterrada a norte e as saídas no interior do edifício. O ar é extraído por meio de outros sistemas, sendo eles a parede de Trombe e as chaminés solares. Durante o inverno, a renovação de ar interior acontece, exclusivamente, através da parede de trombe ventilada, aquecendo posteriormente o ar que nela entra (Gonçalves e Graça, 2004).



Figura 3.44: Casa Schafer com a sua fachada principal e claraboia orientada a sul e as paredes de Trombe ventiladas (Gonçalves e Graça, 2004)

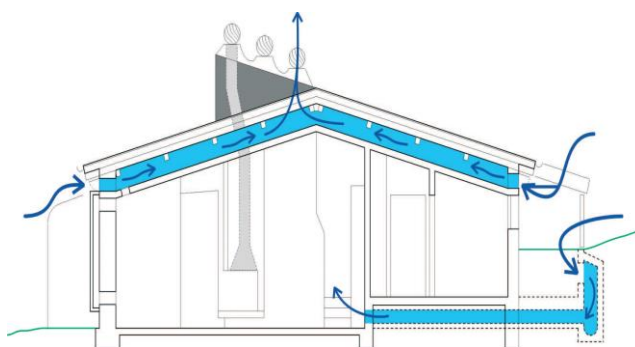


Figura 3.45: Esquema representativo da ventilação durante o verão na Casa Schafer (Gonçalves e Graça, 2004)

Na zona Norte do Parque das Nações, encontra-se um edifício habitacional desenvolvido pela arquiteta Livia Tirone, construído em 1998, intitulado Torre Verde. É um edifício constituído por 41 apartamentos, distribuídos por 12 pisos, onde se deu especial atenção à dimensão da área dos envidraçados

orientados a sul e ao seu sombreamento no verão, por meio de varandas e estores exteriores de lâminas. Para além da aplicação do sistema de ganho direto, também obteve ganhos solares através de sistemas indiretos, mais especificamente paredes de armazenamento térmico. Existe uma ventilação adequada, na maior parte dos casos verificando-se uma ventilação cruzada. Sabe-se que nos primeiros 8 anos de ocupação, 20 dos 41 apartamentos não ligaram o aquecimento centralizado, indicando um passo importante para a valorização dos sistemas passivos e da construção sustentável (Pinheiro, 2006).



Figura 3.46: Edifício Torre Verde, Parque das Nações (Lidera, 2007)

Foram construídas entre 1998 e 2003 as Casas de Janas, em Sintra e são mais um exemplo da construção solar passiva em Portugal. Este projeto foi projetado pelo arquiteto João Santa Rita e pela arquiteta Filipa Mourão e é constituído por três moradias unifamiliares geminadas onde foi utilizado o sistema passivo de ganho direto para a estação de aquecimento. Como se pode observar pela Figura 3.47, as moradias têm grandes envidraçados orientados a sul para captar a radiação solar no inverno, e palas e toldos exteriores para controlar a radiação excessiva no verão. Na estação de arrefecimento, a ventilação natural cruzada mantém o ambiente interior confortável (Pinheiro, 2006).



Figura 3.47 Casas de Janas, com os seus envidraçados orientados a sul e exemplo de sombreamento (Gonçalves e Graça, 2004)

Também em Sintra, mais especificamente em Nafarros, se pode encontrar a Quinta Verde, constituída por 90 moradias e outro exemplo da aplicação de sistemas passivos. Mais uma vez foram aplicados sistemas de ganho diretos, com envidraçados orientados a sul e os devidos sombreamentos exteriores,

e também sistemas de ganho indireto, como as paredes de Trombe. Devido a estas soluções construtivas, as habitações não só apresentam um elevado nível de conforto térmico durante todo o ano mas também uma redução de 80% do consumo de energia (Tirone, 2007). Este projeto também foi desenvolvido pela arquiteta Livia Tirone.



Figura 3.48: Habitação da Quinta Verde, Nafarros (Gonçalves et al., 2014)

Em 2003 foi projetado pelos arquitetos José Mateus e Nuno Mateus, uma moradia em Romeirão, na Ericeira, localizada na pendente norte de um vale, onde se destacam sistemas passivos, como a orientação dos envidraçados para sul, a proteção contra os ventos frios dominantes de modo a minimizar as perdas térmicas, uma vez que a habitação acompanha o declive do terreno, estando parcialmente enterrada, beneficiando desse fator para o aquecimento no inverno e arrefecimento pelo solo no verão. Também se pode verificar o arrefecimento evaporativo devido a uma zona com água, junto ao edifício e à ventilação natural através dos envidraçados. A moradia também beneficia de uma boa inércia térmica. De modo a evitar o sobreaquecimento na estação de arrefecimento, os vãos envidraçados orientados a sul estão dotados de sombreamento exterior e interior (Arx, sem data).



Figura 3.49: Habitação passiva em Romeirão (Archdaily, sem data)

Mais um exemplo é o Edifício Solar XXI, construído em 2005 e inaugurado no campus do LNEG, em Lisboa. As estratégias passivas usadas foram o arrefecimento pelo solo por meio de tubos enterrados, a ventilação natural e um sistema de ganho direto, com uma fachada orientada a sul de modo a obter os ganhos solares no inverno (Gonçalves e Cabrito, 2004).



Figura 3.50: Edifício Solar XXI e a sua fachada orientada a sul (Gonçalves e Cabrito, 2005)

Durante o verão, são utilizadas um conjunto de estratégias que permitem o arrefecimento natural do edifício. Com a ajuda de sombreamento para evitar ganhos solares excessivos, tanto na envolvente opaca como nos envidraçados. A ventilação natural e o arrefecimento através de tubos enterrados permitem a entrada de ar arrefecido para o interior, contribuindo para um maior conforto térmico. Foram colocados 32 tubos de manilhas de cimento com 30 cm de diâmetro, enterrados a cerca de 4,6 m, ligados a um poço de alimentação perto do edifício. Cada sala recebe dois tubos e o utilizador dessa mesma sala pode controlar a ventilação que se fará sentir na sala (Gonçalves e Cabrito, 2004).



Figura 3.51: Saídas de ventilação no interior das salas (Gonçalves e Cabrito, 2005)

Pode-se perceber, após a demonstração de vários exemplos de aplicação de sistemas passivos em Portugal, que já existe uma preocupação em integrar estes sistemas na construção contemporânea, ainda que de forma pontual. Espera-se que num futuro próximo seja um ato natural por parte dos projetistas a integração destas soluções nos edifícios, assim como na reabilitação dos mesmos tornando cada vez mais eficiente e sustentável habitar em Portugal.

3.8. Síntese de aplicação

- Sistemas passivos de aquecimento:

Deve-se ter em consideração vários fatores quando se escolhe um sistema passivo de aquecimento de modo a se obter o máximo aproveitamento desse sistema, nomeadamente o tipo de aquecimento que se deseja, a que horas do dia e o tipo de ocupação do edifício.

Levando em conta os sistemas considerados anteriormente, apresenta-se na Tabela 3-5 um resumo de aplicação dos sistemas referidos.

Tabela 3-5: Síntese de aplicação dos sistemas passivos de aquecimento [baseado em (Gonçalves e Graça, 2004)]

Estação	Estratégia Bioclimática	Sistemas Passivos de Aquecimento		Tipo de Edifício
Estação de Aquecimento - Inverno	Promover os ganhos solares	Ganho direto – promover o aquecimento rápido do espaço. Os vãos envidraçados devem localizar-se preferencialmente orientados a sul.		Todos os edifícios com ocupação noturna e/ou diurna
		Ganho indireto – armazenar o calor durante o dia para o transmitir durante a noite.		Edifício ou compartimento do mesmo a utilizar durante a noite.
		Ganho isolado	Estufa: promover o aquecimento do espaço interior durante o dia	Edifício ou zona deste com ocupação diurna.
			Coletores de ar: permitir a introdução de ar aquecido em espaços com grandes necessidades de renovação de ar durante o inverno.	Edifício ou zona deste com ocupação diurna e com um elevado número de ocupantes (salas de aula, auditórios, etc.).

- Sistemas passivos de arrefecimento:

A escolha de um sistema passivo de arrefecimento deve levar em consideração os mesmos fatores que os sistemas de aquecimento para se conseguir obter um maior aproveitamento, aplicados, por sua vez, à estação quente. Considerando os sistemas descritos, apresenta-se no Quadro 3-6 um breve resumo da aplicação destes sistemas de arrefecimento passivo.

Tabela 3-6: Síntese de aplicação dos sistemas passivos de arrefecimento [baseado em (Gonçalves e Graça, 2004)]

Estação	Estratégia Bioclimática	Sistemas Passivos de Arrefecimento	Tipo de Edifício
Estação de arrefecimento - Verão	Promover o arrefecimento	<p>Ganho direto – arrefecer um espaço, colocando esse mesmo espaço em contato direto com a fonte fria, que tanto pode ser o ambiente exterior mais fresco, pavimento subterrâneo ou água</p>	<p>Todos os edifícios, mas mais relevante nos edifícios de habitação</p>
		<p>Ganho indireto – absorver o calor do edifício, radiando a energia para o exterior ou arrefecendo o ambiente interior com um fluxo de ar fresco</p>	<p>Todo o tipo de edifícios</p>
		<p>Ganho isolado – fazer as trocas de calor numa zona separada do ambiente a arrefecer</p>	<p>Todo o tipo de edifícios</p>



4. CASO DE ESTUDO

4.1. Descrição dos projetos

Para o caso de estudo optou-se por analisar três projetos localizados no Freixial, freguesia de S. Miguel de Acha, concelho de Idanha-a-Nova, distrito de Castelo Branco. Os três projetos estão dispostos na mesma região, ou seja, usufruem das mesmas características climáticas.

O primeiro projeto, projeto A, trata-se de um edifício antigo com uma área de 97,4 m². Os restantes projetos representam propostas passivas e desenvolvem-se em piso térreo com área de 107,06 m². O projeto B é uma proposta passiva desenvolvida em 2010 e o projeto C é a mesma proposta passiva do projeto B mas cumprindo os regulamentos atuais. Todos são de tipologia T1, sendo ocupado por sala e kitchenette, quarto e instalação sanitária, no caso dos projetos passivos, orientados segundo um eixo longitudinal Nordeste – Sudoeste. Na Figura 4.1 é apresentada a planta do piso 0 dos projetos propostos. Os restantes desenhos (planta de cobertura, fundações, alçados e cortes) e informação relativa a áreas de compartimentos encontram-se no Anexo A (Elementos gerais da moradia). A fração encontra-se em zona rural, sem grandes sombreamentos no horizonte, numa zona muito exposta (sem obstáculos que atenuem o vento), a uma altitude de 350 metros.

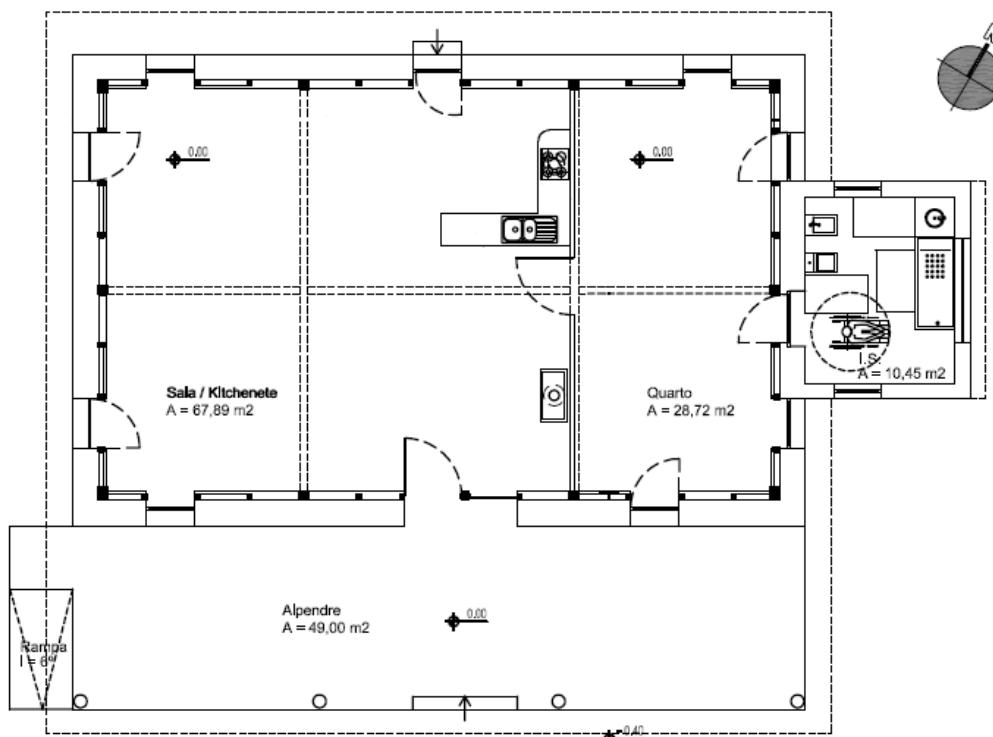


Figura 4.1: Planta do piso 0 do projeto B e C

4.2. Localização dos projetos

Os projetos estão localizados no concelho de Idanha-a-Nova, distrito de Castelo Branco. O município de Idanha-a-Nova encontra-se, segundo a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) na região Centro (NUTS II), e na sub-região da Beira Baixa (NUTS III). Como já referido anteriormente, existem três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3) em Portugal, definidas pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e mais recentemente atualizado pela Lei n.º 28/2016 de 23 de junho. Estas zonas são definidas para a aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente (Despacho (Extrato) nº 15793-F 2013). Colocando o zonamento climático em prática, pode-se afirmar que os projetos a estudar se encontram nas zonas I2 e V3, de inverno e verão, respetivamente.

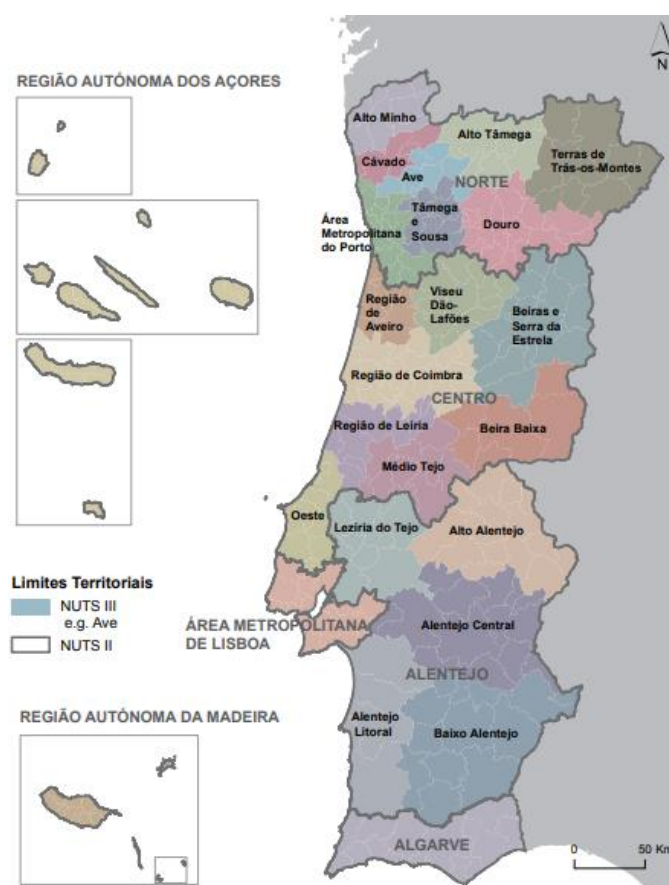


Figura 4.2: Mapa dos níveis NUTS II e NUTS III (Instituto Nacional de Estatística, 2015)

Nesta zona I2-V3, as condições de verão sobrepõem-se às de inverno, levando a que se tenha especial atenção na restrição dos ganhos solares, derivado dos climas secos e de grandes amplitudes térmicas que se fazem sentir. Assim, devem-se optar por estratégias de arrefecimento evaporativo e por uma inércia térmica forte. É importante que durante o inverno se restrinjam as perdas térmicas por condução e se promovam os ganhos solares, enquanto que no verão se devam restringir os ganhos por condução

e os ganhos solares. Uma solução é dotar os edifícios de elevados níveis de isolamento térmico, restringindo assim a transmissão térmica por condução, traduzindo num melhor desempenho tanto no inverno como no verão (Gonçalves e Graça, 2004).

Os edifícios encontram-se num terreno acidentado, com pendente para sudeste. Assim terão uma maior quantidade de insolação durante o dia. O ponto mais a noroeste encontra-se à cota 364 m, enquanto que o ponto mais a sudeste encontra-se à cota 342 m (edifício está à cota 350 m). Com o aumento da cota do terreno para Noroeste, advém uma maior proteção pelo mesmo dos ventos mais frios provenientes de norte.

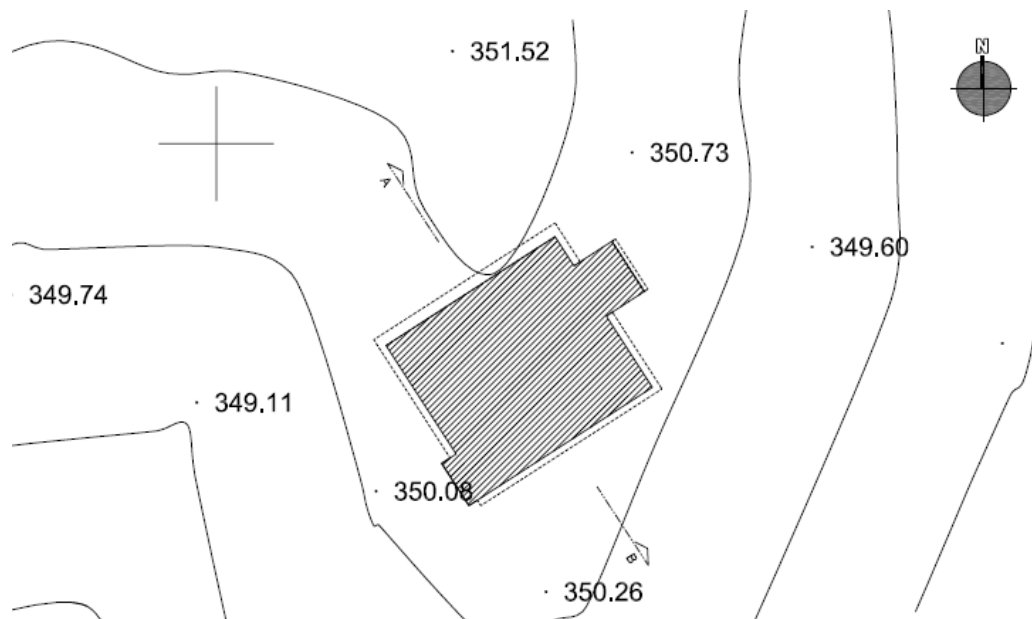


Figura 4.3: Implantação do edifício no terreno

4.3. Caracterização Construtiva

O caso de estudo está dividido em três projetos: o projeto do edifício antigo, projeto passivo e projeto passivo de acordo com o novo Decreto-Lei. O edifício antigo foi construído nos anos 60, com soluções construtivas adequadas há época de construção, mas desajustadas aos princípios mais recentes ligados à construção de edifícios. Com isso em mente, desenvolveu-se um projeto passivo, aplicando soluções construtivas mais recentes. No entanto, esta proposta deu-se no ano 2010, aplicando os Regulamentos da altura e, uma vez que esses mesmos regulamentos já não se encontram em vigor, efetuou-se um estudo de um projeto onde se aplicaria a legislação mais recente.

4.3.1. Projeto A – edifício antigo

Este edifício foi construído na década de 1960, logo as soluções construtivas e os materiais são os mais usados na época da construção naquela zona rural do país.

Não foram fornecidas plantas ou desenhos da habitação, apenas as soluções construtivas e algumas informações relevantes. Por exemplo, sabe-se que a instalação sanitária foi uma ampliação posterior apenas executada no projeto passivo, não entrando essa área para a análise térmica do projeto A que se irá efetuar mais à frente na dissertação.

As soluções construtivas encontram-se descritas no Anexo B (Caracterização construtiva dos projetos), no ponto B1, da presente dissertação, juntamente com a indicação dos valores das áreas das soluções, dos coeficientes de condutibilidade térmica, assim como outros valores e informações relevantes para o estudo térmico.

Resumidamente, sabe-se que as paredes exteriores são paredes simples de alvenaria de pedra de granito com 50 cm de espessura. As paredes não possuem isolamento térmico, o que era usual na época. Os valores de R e U foram obtidos com a consulta do ITE 54, no Quadro I.1.1 – Resistências térmicas de paredes de granito e no Quadro I.1.2 – Coeficientes de transmissão térmica de paredes de granito. Foi necessário efetuar-se uma interpolação dos valores tabelados, uma vez que não havia dados para a espessura da parede do projeto.

Relativamente ao pavimento térreo, não é isolado perimetralmente e ao longo do contacto pelo interior da fração (contacto parede/pavimento). é constituído por uma camada de cascalho com 20 cm de espessura, terra compactada com 10 cm de espessura e soalho de madeira densa com 2,5 cm de espessura.

A cobertura é inclinada, sem isolamento térmico, com telha cerâmica no exterior e teto em tábuas de forro com 2 cm de espessura. Considerou-se que o pé-direito da moradia tinha 3,60 m pois era o ponto médio entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto interior. O valor de U foi conseguido mediante a consulta do ITE 50, no Quadro II.17 - Coeficiente de transmissão térmica de coberturas inclinadas sem isolamento térmico (fluxo ascendente), cobertura leve.

No que diz respeito aos vãos envidraçados, são constituídos por vidros simples incolores de 4 mm, com caixilharia de madeira sem corte térmico e dispositivo de oclusão noturna em cortinas opacas de cor média, pelo interior.

A moradia possui ainda duas portas de entrada, uma a nordeste e outra a sudeste, portas essas de madeira muito densa, de cor média, com 4 cm de espessura.

Também se calculou a inércia térmica através da área das envolventes e das suas massas, chegando-se à conclusão de que o edifício original tinha uma forte inércia térmica, o que era comum nos edifícios antigos devido ao peso e à massa dos materiais usados na construção.

4.3.2. Projeto B - projeto passivo

O projeto passivo foi desenvolvido em 2010 com o intuito de tornar a moradia habitável sem a necessidade de aparelhos de climatização, usando apenas soluções passivas como a aplicação de um isolante térmico nas paredes exteriores e cobertura, assim como uma boa escolha de vãos envidraçados e caixilharia. Foi aplicado isolamento térmico pelo interior nas paredes exteriores da habitação, na cobertura e isolamento térmico pelo exterior na instalação sanitária adicionada ao projeto.

Relativamente às soluções construtivas escolhidas para a envolvente do edifício no projeto B, estão descritas no projeto de arquitetura e são apresentadas no ponto B2 do Anexo B. De seguida será descrita, resumidamente, a caracterização construtiva de todos os elementos constituintes do projeto, como paredes exteriores, pavimentos, cobertura e envidraçados.

Existem dois tipos de paredes exteriores na moradia. As paredes exteriores de tipo 1 são as paredes que delimitam a moradia em praticamente toda a sua área, excetuando as paredes que delimitam a instalação sanitária que foi acrescentada no projeto. As paredes exteriores de tipo 2 confinam apenas a instalação sanitária.

As paredes exteriores de tipo 1 existentes na fração são paredes simples, dispostas do seguinte modo:

- Reboco exterior em argamassa de argila e cal, com espessura de 3 cm, lintel de madeira para assentamento da estrutura exterior com cerca de 10 cm, camada de isolamento térmico em fardos de palha com 50 cm de espessura, pilar e estrutura interior em madeira com cerca de 16 cm de espessura e reboco interior em argamassa de argila com 2cm.

Relativamente às paredes exteriores de tipo 2, são compostas por estrutura em madeira, com a seguinte constituição (do exterior para o interior):

- Parede tipo ETICS, com reboco exterior com 5 mm, placas de isolante Difutherm com 6 cm e isolamento térmico EPS de 6 cm, placa de contraplacado de 7 mm, placa Pavatex com 10 cm de espessura e outra de 2 cm, com estuque interior de 2 cm.

Os pavimentos em contacto com o solo não são isolados perimetralmente e ao longo do contacto pelo interior da fração (contacto parede/pavimento). São constituídos por solo compactado, grilha drenante com espessura de 30 cm, nivelamento em pasta franco argilosa com espessura de 30 cm, camada de assentamento arenoso com espessura de 30 cm, camada de assentamento argiloso com espessura de 10 cm, camada de finalização franco argilosa com espessura de 1,2 cm e tratamento superficial em cera de abelha e cera acrílica transparente.

A cobertura é do tipo inclinada, com telha cerâmica no exterior, tela impermeabilizante, isolamento térmico ecológico com 15cm, manta pára-vapores e teto em tábuas de forro com 2 cm de espessura. Foi aplicado teto falso em toda a área da moradia, deixando a moradia com um pé-direito de 2,71 m.

Os vãos envidraçados das várias zonas independentes são constituídos por vidros duplos coloridos na massa e incolores (4+5) com 6 mm de caixa-de-ar, com caixilharia metálica com corte térmico e dispositivo de oclusão noturna em cortinas transparentes, pelo interior, de cor média. Os espaços em

análise são considerados como locais com ocupação noturna. Não existem caixas de estores na habitação.

Relativamente à renovação do ar do projeto, não existem dispositivos de admissão de fachada nem aberturas autorreguladas. A área dos envidraçados é superior a 15% da área útil de pavimento e as portas exteriores são envidraçadas e bem vedadas.

Também se calculou a inércia térmica através da área das envolventes e das suas massas, concluindo-se que se tratava de uma inércia térmica média.

4.3.3. Projeto C - projeto passivo de acordo com o novo Decreto-Lei

Devido aos novos decretos existentes, optou-se por se desenvolver um projeto passivo que respeitasse os valores de referência desses decretos, tais como o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e as suas mais recentes retificações, o Despacho n.º 15793-F/2013 e a Portaria n.º 379-A/2015 de 22 de outubro.

Avaliaram-se os valores na análise térmica do projeto B que não respeitavam os de referência e efetuaram-se alterações no projeto C para que estivesse de acordo com os decretos mais recentes.

As soluções construtivas escolhidas para a envolvente do edifício no novo projeto de intervenção, estão descritas no projeto de arquitetura e são apresentadas no ponto B3 do Anexo B. De seguida será descrita, resumidamente, a caracterização construtiva de todos os elementos que foram alterados, constituintes do projeto, como as paredes exteriores da instalação sanitária, os vãos envidraçados, dispositivos de admissão de fachada e aberturas autorreguladas.

As paredes exteriores de tipo 1 existentes na fração mantêm-se idênticas:

- Reboco exterior em argamassa de argila e cal, com espessura de 3 cm, lintel de madeira para assentamento da estrutura exterior com cerca de 10 cm, camada de isolamento térmico em fardos de palha com 50 cm de espessura, pilar e estrutura interior em madeira com cerca de 16 cm de espessura e reboco interior em argamassa de argila com 2cm.

Relativamente às paredes exteriores de tipo 2, foi necessário aumentar a espessura do isolamento térmico EPS, uma vez que não estava em conformidade com os valores de U máximo, ficando com a seguinte constituição (do exterior para o interior):

- Parede tipo ETICS, com reboco exterior com 5 mm, placas de isolante Difutherm com 6 cm e isolamento térmico EPS com 8 cm, placa de contraplacado de 7 mm, placa Pavatex com 10 cm de espessura e outra de 2 cm, com estuque interior de 2 cm.

Com a alteração do isolamento, também se alterou a questão de este não estar em contacto com a caixilharia. Corrigiu-se esse fator melhorando assim o coeficiente de transmissão térmica linear ψ .

Os pavimentos em contacto com o solo, assim como a cobertura inclinada, mantiveram-se idênticos, uma vez que verificavam os valores de referência.

Relativamente aos vãos envidraçados das várias zonas independentes, apenas se teve de intervir no envidraçado da instalação sanitária com orientação para sudeste. Seria substituída por uma janela dupla, com ambas as caixilharias metálicas com corte térmico, com vidro duplo e com estore veneziano pelo exterior como proteção solar.

Quanto à renovação do ar da habitação, existem aberturas autorreguladas para um cumprimento das renovações horárias de referência da habitação, de modo a cumprir os requisitos mínimos de renovações horárias, situação que não se verificava no projeto anterior considerado no ponto 4.3.2.

4.4. Análise Térmica

Foi efetuada uma breve análise térmica em cada um dos casos apresentados com o propósito de verificar os valores finais das Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), comparando com os valores de referência N_i e N_v associados às soluções construtivas de cada caso em particular. O N_{ic} exprime a quantidade de energia útil numa moradia para que se mantenha inalterada a sua temperatura interior de referência durante o inverno, isto é, determinar o fluxo de calor a fornecer ao edifício para que a temperatura interior seja $\theta_i \approx 18^\circ\text{C}$. Por sua vez, o N_{vc} exprime a quantidade de energia útil para se manter em permanência uma moradia relativamente à sua temperatura interior de referência durante o verão. Ou seja, determina-se o fluxo de calor a retirar ao edifício para que $\theta_i \approx 25^\circ\text{C}$.

É assim fácil de entender que durante o inverno os ganhos térmicos são vantajosos para o cálculo, uma vez que se pretende o aquecimento do ar interior, diminuindo-se as perdas de calor pelas envolventes. Desse modo existe uma menor amplitude térmica interior. Por outro lado, na estação de arrefecimento, como o próprio nome diz, pretende-se arrefecer o ambiente interior.

O objetivo final será o de confirmar que esses valores nominais cumprem os decretos atuais ao se aplicar apenas sistemas passivos numa habitação, mostrando ser possível manter uma boa temperatura interior, confortável para os seus utilizadores, tanto na estação de aquecimento como de arrefecimento, comparativamente com o projeto do edifício mais antigo. Desse modo, pretende-se demonstrar ser possível viver de um modo mais sustentável.

Foi usado uma folha de cálculo do programa Excel, desenvolvida pelo Prof. Daniel Aelenei do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

4.4.1. Análise térmica do projeto A

Todas as tabelas com o seguimento de todos os cálculos e valores pertencentes à análise térmica são apresentadas no Anexo C, no ponto C1.

Começou-se por introduzir os dados característicos da moradia, como a área útil do pavimento, pé-direito, tipologia, taxas de renovação e dados climáticos referentes a zona climática onde a habitação se insere. O valor da taxa de renovação do ar no inverno foi um valor proposto. Os dados climáticos foram obtidos no Despacho n.º 15793-F, nos termos e para os efeitos do Decreto-Lei mais recente.

Tabela 4-1: Caracterização do projeto A

Localização (município)	Idanha-a-Nova
Área útil de pavimento (m ²)	97,4
Tipologia (T)	T1
Pé direito médio (m)	3,6
Taxa nominal de renovação do ar no Inverno, Rphi	0,1
Taxa nominal de renovação do ar no Verão, Rphv	0,6
Classe de Inércia Térmica	Forte
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,4
Radiação média incidente num envidraçado a Sul G_{sol} (kWh/m ²)	140
Graus dias (°C)	1274
Temp. referência estação arrefecimento θ_{ref}	25
Temp. média exterior estação arrefecimento θ_{ext,v}	25,3
Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, Isol,ref (kWh/m ²)	500

De seguida calculou-se a transferência de calor por transmissão da envolvente exterior da moradia. Dividiu-se essa envolvente entre elementos opacos exteriores (todas as paredes exteriores, cobertura e as portas exteriores), envidraçados exteriores e as respetivas pontes térmicas. Com os valores das áreas, dos coeficientes de condutibilidade térmica (U) das envolventes, dos coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) das pontes térmicas, obtidos no Despacho n.º 15793-K, e com o seu cumprimento (B), obteve-se o valor do coeficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior (H_{ext}).

Devido à inexistência de elementos interiores e vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis, o valor do coeficiente de transferência de calor por condução por elementos em contacto com espaços não-úteis (H_{enu}) é nulo. Uma vez que a moradia se encontra isolada de outros edifícios, o coeficiente de transferência de calor por condução por elementos em contacto com edifícios adjacentes (H_{adj}) é igualmente nulo.

Relativamente aos elementos em contacto com o solo, o pavimento da moradia trata-se de um pavimento térreo logo foi possível calcular o coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo (H_{ecs}).

Efetuada a soma de todos os Coeficientes de transferência de calor obteve-se o valor do coeficiente global de transferência de calor por transmissão para a estação de aquecimento ($H_{tr,i}$) e para a estação de arrefecimento ($H_{tr,v}$). As tabelas com todos os cálculos indicados anteriormente estão indicadas nos pontos C1.2.1., C1.2.2. e C1.2.3, apresentadas resumidamente na Tabela 4-2. Paralelamente,

efetuaram-se os mesmos cálculos para os valores de referência do Decreto-Lei e estão disponíveis para consulta no Anexo C, no ponto C4 (Valores de referência do projeto original).

Tabela 4-2: Coeficiente de transferência de calor por transmissão do projeto A

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (ponto C1.2.1. do Anexo C)	736,39	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu + Hadj	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C1.2.2. do Anexo C)	56,48	W/ °C
	=		
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,i	792,87	W/ °C
VERÃO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C1.2.1. do Anexo C)	736,39	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C1.2.2. do Anexo C)	56,48	W/ °C
	=		
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,v	792,87	W/ °C

Para se obter o valor do N_{ic} , é necessário calcular a transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ($Q_{tr,i}$), as perdas de calor por renovação do ar ($Q_{ve,i}$) e os ganhos de calor úteis na estação de aquecimento ($Q_{gu,i}$) através da seguinte equação, sendo A_p a área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (1)$$

A $Q_{tr,i}$ traduz-se em perdas de calor por condução através da envolvente devido à diferença de temperatura entre o interior e exterior do edifício durante a estação de aquecimento.

Tabela 4-3: Transferência de calor por transmissão

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por transmissão H_{tr,i} (do ponto C1.2.3.do Anexo C)	792,87	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr,i}	24242,848	kWh/ano

As $Q_{ve,i}$ são as perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento.

Tabela 4-4: Transferência de calor por renovação do ar

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar H_{ve,i} (do ponto C1.3.1.)	11,92	W/°C
	=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i}	364,51973	kWh/ano

Por sua vez, os $Q_{gu,i}$ são uma soma entre os ganhos solares das envolventes e os ganhos de qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e ao calor dissipado pelos equipamentos e pelos dispositivos de iluminação.

A inércia térmica torna-se um fator muito importante neste processo, como já explicado anteriormente no subcapítulo 3.5.1. da presente dissertação. Como indicado na Tabela 4-1, a classe de inércia térmica do edifício é considerada forte, promovendo uma maior capacidade em absorver calor, resultando numa menor amplitude térmica interior contribuindo para uma estabilização das temperaturas interiores. A falta de isolamento térmico demonstra ser mais uma desvantagem, pois o isolamento quando pelo interior funciona como tampa do reservatório de armazenamento de calor que constitui a massa da construção.

Resumidamente, verificou-se os ganhos térmicos na estação de aquecimento, através dos ganhos solares dos vãos envidraçados. Efetuou-se o cálculo dos sombreamentos dos vãos envidraçados e visto se tratar de palas horizontais fixas, os valores dos ângulos são iguais para a estação de aquecimento e de arrefecimento. Com o apoio do Despacho n.º 15793-K, calculou-se a área efetiva coletora a sul ($X.A_{s,i}$), que multiplicando pela radiação média incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})

e pela duração da estação de aquecimento em meses, permite determinar os ganhos solares brutos ($Q_{sol,i}$), como se pode ver no ponto C1.4.1 do Anexo C.

De seguida calcularam-se os ganhos internos brutos, $Q_{int,i}$, e somando estes com os $Q_{sol,i}$ chegou-se ao valor dos ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$). Multiplicando os $Q_{g,i}$ pelo fator de utilização, η , obtém-se o valor desejado dos $Q_{gu,i}$.

Com todos os valores necessários calculados, fica-se a saber as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento da habitação como se pode ver na Tabela 4-5.

Tabela 4-5: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do projeto A

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$ (do ponto C1.6.1.do Anexo C)	24242,85	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$ (do ponto C1.6.2. do Anexo C)	364,52	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$ (do ponto C1.6.3. do Anexo C)	2408,15	kWh/ano
	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	22199,21	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	97,4	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	227,92	kWh/m ² .ano

O próximo passo foi calcular as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} . Para isso é necessário calcular os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$) e o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento (η_v). Dividindo-se pela área interior útil do pavimento, tem-se a seguinte equação:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (2)$$

Para se obter o valor de $Q_{g,v}$ é necessário calcular os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ($Q_{int,v}$) e os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada ($Q_{sol,v}$) do edifício. Esses cálculos encontram-se nos pontos C1.5.2 e C1.5.3 do Anexo C. O cálculo do $Q_{sol,v}$ é semelhante à metodologia usada na estação de aquecimento. A Tabela 4-6 demonstra os valores conseguidos.

Tabela 4-6: Ganhos térmicos brutos do projeto A

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	5992,3714 kWh/ano
	+
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1140,7488 kWh/ano
	=
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	7133,1202 kWh/ano

O fator de utilização dos ganhos, η_v , está diretamente ligado ao valor da transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$), ao valor da transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento ($Q_{ve,v}$) e ao já calculado $Q_{g,v}$. O $Q_{ve,v}$ calcula-se de modo semelhante à estação de aquecimento. Por sua vez, tanto o $Q_{tr,v}$, como o $Q_{ve,v}$, representam, em média, ganhos pois a temperatura média exterior durante toda a estação de arrefecimento (25,3°C) é superior à temperatura interior de referência (25°C) nesta zona climática do país.

Tabela 4-7: Fator de utilização de ganhos η_v do

Inércia do edifício	Forte
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	7133,12 kWh/ano
	:
Transf. de calor por transmissão e por renovação $Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$ (do ponto C1.7.2. e do ponto C1.7.3. do Anexo C)	-759,29 kWh/ano
	=
parâmetro γ_v	-9,39
parâmetro a_v	4,2
Fator de utilização dos ganhos η_v	-0,11

Com estes valores mais os dados do Despacho n.º 15793-K, consegue-se chegar ao valor desejado de N_{vc} como representado na Tabela 4-8.

Tabela 4-8: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do projeto A

1- η_v	1,11
	x
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ (do ponto C1.5.4. do Anexo C)	7133,1202 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	97,4 m ²
	=
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc}	81,03 kWh/m ² .ano

Por fim, verificaram-se as necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}), calculando as necessidades nominais de energia primária para aquecimento e arrefecimento. Este cálculo serve para se conseguir saber a classe energética da habitação. Para tal optou-se por definir que a fonte de energia usada para o aquecimento era elétrica. Somando as necessidades para aquecimento e arrefecimento com as necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, determina-se o valor pretendido das necessidades nominais anuais globais de energia primária.

Com todos os valores calculados, pode-se finalmente verificar a conformidade dos valores N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} com os de referência N_i , N_v e N_t , estipulados segundo o REH. Não obstante, sabe-se que estes Regulamentos e Decretos não estavam em vigor na data da construção do edifício, logo não era necessário efetuar-se esta verificação. Foi apenas a título de exemplo e comparativo que se fez esta análise. Os valores finais das necessidades nominais são os já demonstrados nas tabelas anteriores:

- $N_{ic} = 227,92 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_{vc} = 81,03 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_{tc} = 866,37 \text{ kWhEP}/(\text{m}^2.\text{ano})$

Os valores máximos de necessidades energéticas são:

- $N_i = 66,50 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_v = 38,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_t = 299,15 \text{ kWhEP}/(\text{m}^2.\text{ano})$

Assim $N_{ic} \geq N_i$, $N_{vc} \geq N_v$ e $N_{tc} \geq N_t$, confirmando, como esperado, que nenhum dos valores das necessidades nominais estariam em conformidade com os Regulamentos atuais.

4.4.2. Análise térmica do projeto B

Todas as tabelas com os cálculos e valores pertencentes à análise térmica são apresentadas no Anexo C (Análise térmica dos projetos), no ponto C2.

Assim como no projeto anterior, começou-se por introduzir os dados característicos da moradia, como a área útil do pavimento, pé-direito, tipologia, taxas de renovação e dados climáticos referentes à zona climática onde a habitação se insere. Relativamente às taxas de renovação horária, foi usada uma ferramenta de cálculo exterior, através da qual se obtiveram-se os valores necessários. Neste projeto foi introduzido um exaustor do tipo ventax na sala/kitchenette contribuindo para a renovação do ar interior. Os dados climáticos foram obtidos no Despacho n.º 15793-F, nos termos e para os efeitos do Decreto-Lei mais recente.

Tabela 4-9: Caracterização do projeto B

Localização (município)	Idanha-a-Nova
Área útil de pavimento (m ²)	107,06
Tipologia (T)	T1
Pé direito médio (m)	2,71
Taxa nominal de renovação do ar no Inverno, Rphi	0,3
Taxa nominal de renovação do ar no Verão, Rphv	0,6
Classe de Inércia Térmica	Média
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,4
Radiação média incidente num envidraçado a Sul G_{sol} (kWh/m ²)	140
Graus dias (°C)	1274
Temp. referência estação arrefecimento θ_{ref}	25
Temp. média exterior estação arrefecimento θ_{ext,v}	25,3
Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, Isol,ref (kWh/m ²)	500

As diferenças na caracterização da fração para o projeto A são o aumento de área útil de pavimento, uma vez que foi acrescentada uma instalação sanitária na fachada Noroeste, a diminuição do pé-direito para 2,71 m devido à construção do teto falso, aumento da taxa de renovação do ar no inverno e redução da massa térmica da envolvente do edifício, passando de forte para média a classe de inércia térmica.

De seguida efetuaram-se os mesmos cálculos para o projeto B que já se tinham realizado para o projeto A apresentado no subcapítulo anterior. Obviamente existem diferenças nos resultados devido às mudanças implementada e são essas diferenças nos resultados que irão ser apresentados de seguida.

Começou-se por calcular o coeficiente de transferência de calor por transmissão para o inverno e para o verão apresentado na Tabela 4-10.

Comparativamente com o edifício do projeto A, o coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior, H_{ext} , diminuiu consideravelmente. A causa foi o novo valor de condutibilidade térmica dos elementos opacos exteriores. O valor das paredes passou de $U_{par\ ext}=2\text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ do edifício original para $U_{par\ ext}=0,13\text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ (parede exterior 1) e $U=0,55\text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ (parede exterior 2). A aplicação de palha como isolamento térmico nas paredes exteriores 1 demonstrou ser muito eficaz, assim como a solução com ETICS para a instalação sanitária. A introdução de isolamento térmico na cobertura ajudou a reduzir consideravelmente o valor de U, como seria de esperar. Os resultados foram ao encontro do expectável, uma vez que o coeficiente Htr do projeto passivo é quase quatro vezes inferior ao do projeto A.

Tabela 4-10: Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C2.2.1. do Anexo C)	182,47	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu + Hadj	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C2.2.2.do Anexo C)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,i	236,00	W/ °C
VERÃO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C2.2.1. do Anexo C)	182,47	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C2.2.2. do Anexo C)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,v	236,00	W/ °C

Consequentemente, o valor da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $Q_{tr,i}$ reduziu consideravelmente quando comparado com o edifício original, como se pode ver na Tabela 4-11, uma vez que estão diretamente relacionados.

Assim conclui-se que ocorrem menos perdas de calor por condução através da envolvente e a introdução do isolamento térmico nessas envoltentes contribuiu para isso mesmo.

Tabela 4-11: Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef de transferência de calor por transmissão Htr,i (do ponto C2.2.3. do Anexo C)	236	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Qtr,i	7215,9	kWh/ano

Quanto ao valor da transferência de calor por renovação do ar, $Q_{ve,i}$, o resultado foi o seguinte:

Tabela 4-12: Transferência de calor por renovação do ar

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar H_{ve,i} (do ponto C2.3.1. do Anexo C)	29,59	W/°C
	=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i}	904,86	kWh/ano

Uma vez que a taxa de renovação do ar aumentou no projeto de intervenção, a transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento também aumentou.

Relativamente aos ganhos totais úteis, $Q_{gu,i}$, torna-se visível o impacto que as classes de inércia têm no conforto interior. Uma vez que a classe de inércia térmica baixou para média no projeto B, os ganhos úteis aumentaram, pois variam com o fator de utilização de ganhos térmicos, seja na estação de aquecimento seja na estação de arrefecimento, uma vez que este parâmetro está relacionado com a inércia térmica do edifício. Para calcular os ganhos térmicos úteis, é necessário primeiro se calcular os ganhos térmicos brutos, resultando estes no somatório dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor com os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados. As áreas dos vãos envidraçados passaram para o dobro no projeto passivo, mudou-se para vidros duplos., estando a maior área de vãos envidraçados orientados para o quadrante Sudeste, influenciando assim os ganhos solares na estação de aquecimento.

Com a diminuição da inércia térmica do edifício é normal que as variações de temperatura aumentem dentro do edifício, tornando-se essencial a aplicação do isolamento térmico para controlar essa mesma variação, causando como que um efeito estufa no interior da habitação. Está-se perante um sistema passivo de ganho direto.

Assim o valor de N_{ic} está representado na tabela 4-13. Como se pode ver, ocorreu uma grande redução de necessidades de energia para aquecimento, tudo por causa das soluções integradas, traduzindo-se em grandes benefícios.

Tabela 4-13: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$ (do ponto C2.6.1. do Anexo C)	7215,9	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$ (do ponto C2.6.2. do Anexo C)	904,85	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$ (do ponto C2.6.3. do Anexo C)	3409,08	kWh/ano
	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	4711,66	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	44,01	kWh/m².ano

O passo seguinte foi o de calcular as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} . Repetiram-se os cálculos efetuados no subcapítulo anterior e os resultados foram os apresentados na tabela 4-14, 4-15 e 4-16.

Tabela 4-14: Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ (ponto C2.5.2. do Anexo C)	2511,82	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ (ponto C2.5.3. do Anexo C)	1253,89	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3765,7	kWh/ano

Como seria de esperar, os ganhos solares na estação de arrefecimento variam com a orientação dos envidraçados e dos elementos opacos exteriores e não com a classe de inércia térmica.

Finalmente têm-se todos os valores necessários para a equação (3) e perceber a necessidade de energia para o arrefecimento do edifício.

Tabela 4-15: Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício	Média
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ (do ponto C2.5.4. do Anexo C)	3765,70 kWh/ano
	:
Transf. de calor por transmissão e por renovação $Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$ (do ponto C2.7.2. e do ponto C2.7.3. do Anexo C)	-259,29 kWh/ano
	=
parâmetro γ_v	-14,52
parâmetro a_v	2,6
Fator de utilização dos ganhos η_v	-0,07

Tabela 4-16: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

1- η_v	1,07
	x
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ (do ponto C2.5.4.)	3765,7 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
	=
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc}	37,6 kWh/m².ano

Por fim, verificou-se as necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_{tc} , de modo semelhante ao projeto A. Os cálculos estão apresentados no Anexo C, no ponto C2.8.

Com todos os valores calculados, pode-se finalmente verificar a conformidade dos valores N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} com os de referência N_i , N_v e N_t , estipulados segundo o REH. Não obstante, sabe-se que os Regulamentos e Decretos atuais não estavam em vigor na data do projeto de intervenção, uma vez que o Regulamento que estava em vigor era o RCCTE e os requisitos a cumprir não eram tão rigorosos. Os valores finais das necessidades nominais são:

- $N_{ic} = 44,01 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_{vc} = 37,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_{tc} = 173,63 \text{ kWhEP}/(\text{m}^2.\text{ano})$

Os valores máximos de necessidades energéticas são:

- $N_i = 73,58 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_v = 38,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$
- $N_t = 245,07 \text{ kWhEP}/(\text{m}^2.\text{ano})$

Assim $N_{ic} \leq N_i$, $N_{vc} \leq N_v$ e $N_{tc} \leq N_t$, logo confirma-se que todos os valores das necessidades energéticas estão em conformidade com os valores de referência, apesar de não serem estes valores de referência em vigor na altura do projeto. Isso só comprova que as soluções aplicadas foram acertadas e benéficas, cumprindo o objetivo proposto.

4.4.3. Análise térmica ao Projeto C

Todas as tabelas com os cálculos e valores pertencentes à análise térmica são apresentadas no Anexo C, no ponto C3.

Quanto à caracterização da fração, a única diferença para o projeto anterior é a sua taxa de renovação do ar durante o inverno, que aumentou para $R_{phi} = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Como o valor de referência do Decreto-Lei é de 0,5 renovações por hora, teve de se incorporar uma abertura de admissão de ar autorregulável a 2Pa com $253,87 \text{ cm}^2$ para se aumentar a taxa de renovação de 0,3 para 0,5.

Tabela 4-17: Caracterização da fração do projeto C

Localização (município)	Idanha-a-Nova
Área útil de pavimento (m^2)	107,06
Tipologia (T)	T1
Pé direito médio (m)	2,71
Taxa nominal de renovação do ar no Inverno, Rphi	0,5
Taxa nominal de renovação do ar no Verão, Rphv	0,6
Classe de Inércia Térmica	Média
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,4
Radiação média incidente num envidraçado a Sul Gsul (kWh/m^2)	140
Graus dias ($^{\circ}\text{C}$)	1274
Temp. referência estação arrefecimento θ_{ref}	25
Temp. média exterior estação arrefecimento $\theta_{ext,v}$	25,3
Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente num $^{\circ}3Y$ a superfície orientada a Oeste, Isol,ref (kWh/m^2)	500

De seguida efetuaram-se os mesmos cálculos para o projeto C que já se tinham realizado no subcapítulo anterior. Houve alterações que se implementaram visando o cumprimento dos valores máximos estipulados pelo Decreto-Lei mais recente.

Começou-se por calcular o coeficiente de transferência de calor por transmissão para o inverno e para o verão apresentado na Tabela 4-18.

Tabela 4-18: Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C3.2.1. do Anexo C)	176,91	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu + Hadj	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hece (Ponto C3.2.2. do Anexo C)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,i	230,44	W/ °C
VERÃO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C3.2.1. do Anexo C)	176,91	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hece (Ponto C3.2.2. do Anexo C)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,v	230,44	W/ °C

Comparativamente com o projeto sem a aplicação do atual Decreto-Lei, o coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior, H_{ext} , diminuiu ligeiramente. A causa foi a redução do valor de condutibilidade térmica das paredes exteriores da instalação sanitária. O valor das paredes passou de $U_{par\ ext2} = 0,55\ W/(m^2C)$ para $U_{par\ ext2} = 0,37\ W/(m^2C)$. Isto deve-se ao fato de se ter aumentado a espessura do isolamento térmico EPS na tecnologia construtiva ETICS escolhida para a envolvente exterior da instalação sanitária de modo a cumprir o valor máximo de U ref.

Consequentemente, o valor da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $Q_{tr,i}$ reduziu muito superficialmente.

Quanto ao valor da transferência de calor por renovação do ar, $Q_{ve,i}$, o valor calculado foi o seguinte:

Tabela 4-19: Transferência de calor por renovação do ar

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar H_{ve,i} (do ponto C3.3.1. do Anexo C)	49,32	W/°C
	=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i}	1508,09	kWh/ano

Mais uma vez, como a taxa de renovação do ar aumentou no projeto C segundo os valores de referência do Decreto-Lei, a transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento também aumentou.

Relativamente aos ganhos totais uteis, $Q_{gu,i}$, o valor manteve-se do projeto anterior, logo o valor de N_{ic} é o seguinte, apresentado na tabela 4-20.

Tabela 4-20: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr,i} (do ponto C3.6.1. do Anexo C)	7046,05	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i} (do ponto C3.6.2. do Anexo C)	1508,09	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento Q_{gu,i} (do ponto C3.6.3. do Anexo C)	3436,2	kWh/ano
	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	5117,93	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	47,8	kWh/m ² .ano

Verifica-se que, comparativamente com o projeto onde não se tinha de cumprir os requisitos máximos mais recentes, ocorre um pequeno aumento da necessidade de energia para aquecimento. Justifica-se esse aumento com o incremento da taxa de renovações horarias de modo a cumprir o valor de referência.

O passo seguinte foi calcular as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} . Repetiram-se os cálculos efetuados no subcapítulo anterior e os resultados foram os apresentados na tabela 4-21, 4-22 e 4-23.

Tabela 4-21: Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ (ponto C3.5.2. do Anexo C)	2509,78 kWh/ano
	+
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ (ponto C3.5.3. do Anexo C)	1253,89 kWh/ano
	=
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3763,67 kWh/ano

Tabela 4-22: Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício	Média
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ (do ponto C3.5.4.)	3763,67 kWh/ano
	:
Transf. de calor por transmissão e por renovação $Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$ (do ponto C3.7.2. e do ponto C3.7.3.)	-254,41 kWh/ano
	=
parâmetro γ_v	-14,79
parâmetro a_v	2,6
Fator de utilização dos ganhos η_v	-0,07

Finalmente têm-se todos os valores necessários para resolver a equação (3), percebendo-se desde logo que o valor de energia necessário para o arrefecimento se mantém praticamente inalterado quando comparado com o projeto anterior

Tabela 4-23: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

1- η_v	1,07
	x
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ (do ponto C3.5.4.)	3763,68 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
	=
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc}	37,53 kWh/m².ano

Com todos os valores calculados, pode-se finalmente verificar a conformidade dos valores N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} com os de referência N_i , N_v e N_t , estipulados segundo o REH. Os valores finais das necessidades nominais são:

- Nic = 47,8 kWh/(m².ano)
- Nvc = 37,45 kWh/(m².ano)
- Ntc = 180 kWhEP/(m².ano)

Os valores máximos de necessidades energéticas são:

- Ni = 81,73 kWh/(m².ano)
- Nv = 38,3 kWh/(m².ano)
- Nt = 265,47 kWhEP/(m².ano)

Pode-se verificar que todos os valores das necessidades nominais cumprem os requisitos dos valores de limite de referência: $Nic \leq Ni$, $Nvc \leq Nv$ e $Ntc \leq Nt$.

4.4.4. Análise comparativa

Em suma, comparando os valores das necessidades nominais, observa-se, sem surpresa, que os valores do projeto A estão longe de estar em conformidade com os requisitos atuais. A falta de soluções passivas, usual nos edifícios antigos e rurais, traduz-se em elevados consumos energéticos para manter inalterada a temperatura interior de referência durante o inverno. Obviamente, um isolamento térmico nas envolventes verticais, assim como na cobertura, seria de grande ajuda para reduzir as necessidades energéticas e restringir as perdas térmicas por condução. Relativamente à estação de arrefecimento, esses consumos não são tão elevados muito devido à inércia térmica forte do edifício, apesar de, comparando com os projetos passivos, representam mais do dobro das necessidades energéticas na mesma estação, demonstrado na Figura 4.4. A existência de vidros simples mostra ser uma desvantagem evidente pois facilitam a condução de calor para o interior da habitação.

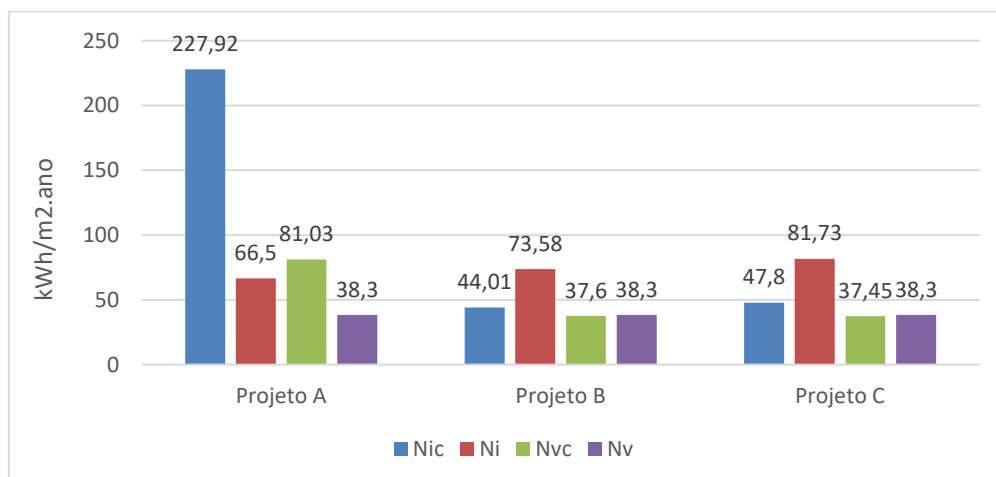


Figura 4.4: Comparação de valores Nic, Ni, Nvc e Nv entre os projetos estudados

Foi, então, efetuado o projeto passivo, aplicando-se soluções construtivas modernas, levando a uma escolha eficiente de modo a se obterem maiores ganhos térmicos e, assim, conseguir-se uma redução no consumo energético, recorrendo às características dos materiais e ao bom aproveitamento da energia solar incidente no edifício. Tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento, alcançaram-se valores favoráveis de necessidades energéticas com a introdução do conceito passivo. A aplicação do sistema de ganho direto, onde se aplicaram paredes leves com blocos de palha como isolamento térmico, assim como isolamento térmico na cobertura, ajudou a que esses valores energéticos fossem alcançados. O aumento da área de cada janela, inserindo-se vidros duplos e caixilharia metálica com corte térmico também proporcionou que ocorressem melhorias nos ganhos térmicos comparativamente com o edifício do projeto A. A arquitetura do projeto facilita a ventilação natural e cruzada, muito útil na estação de arrefecimento. A grande pala a sudeste ajuda a sombrear e controlar os ganhos térmicos durante o verão.

Apesar da maioria se mostrar reticente em confiar em blocos de palha como isolamento térmico, neste caso demonstrou-se ser bastante eficiente com diversas vantagens. Representa um material renovável e reciclável, que não liberta emissões tóxicas em caso de incêndio, retardando ainda a propagação de incêndios. Tem um baixo custo e um estável desempenho térmico, mesmo na presença de humidade.

Com todas estas alterações, atingiram-se valores tão positivos de necessidades nominais de energia N_{ic} e N_{vc} . No entanto, era necessário estar em concordância com os valores de referência mais recentes aprovados pelo Secretário de Estado da Energia, e por isso a necessidade de se efetuar pequenas alterações no projeto de intervenção. Houve a necessidade de mais rigor na questão da renovação do ar interior, o que levou a que houvesse um ligeiro aumento de transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento, analogamente ao projeto B. Esse fator conduziu à maior necessidade de energia para aquecimento no projeto C, apesar do valor de transferência de calor por transmissão ser bastante inferior comparado com o projeto que não seguia o Decreto mais recente.

No que diz respeito aos valores das necessidades energéticas para a estação de arrefecimento, não houve alterações entre os dois projetos passivos, onde se obtiveram os mesmos resultados. Deve-se ao facto das alterações que se implementaram não estarem diretamente ligadas ao arrefecimento da habitação, mas sim à fase de aquecimento.

Assim, verificou-se a importância da envolvente de um edifício para o seu consumo energético, uma vez que é responsável por separar o espaço interior útil do ambiente exterior. Com o caso de estudo, conclui-se que a envolvente tem uma grande importância no aquecimento e arrefecimento de uma habitação, sendo fundamental a correta aplicação de isolamento térmico nas paredes, coberturas e pisos. Desse modo, ajudará a regular a temperatura interior nos climas mais quentes e a reduzir as perdas de calor durante a estação mais fria. É necessária especial atenção com as pontes térmicas, para não ocorrerem perdas térmicas excessivas. Outro fator importante são os vãos envidraçados, que devem ter um bom coeficiente de transmissão térmica, assim como uma boa orientação e dimensionamento. A aplicação de vidro duplo demonstrou ser uma mais valia.

Por fim, o cálculo da ventilação e dos caudais de entrada e saída de ar também têm uma enorme relevância para se obter uma ventilação natural apropriada.

5. CONCLUSÕES

5.1. Conclusões finais

É consensual que são muitas as soluções solares passivas que contribuem para a redução das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento de um edifício. No entanto, pode ser complexo indicar qual o melhor sistema passivo a ser aplicado uma vez que, tanto o clima como as características do ambiente que rodeiam o edifício variam consoante os casos.

Com o caso de estudo, pretendia-se verificar se a aplicação de sistemas passivos ajuda na redução do consumo energético dos edifícios e se é possível um edifício completamente passivo, sem ajuda de sistemas ativos ou aparelhos de climatização, cumprir os regulamentos e decretos atuais.

Foi feita uma análise térmica de cada projeto com auxílio de uma folha de cálculo de Excel programada para o efeito. Começou-se por analisar o projeto A, para se ficar com uma ideia geral e uma base dos valores de necessidades energéticas que uma moradia sem sistemas passivos teria. De seguida realizou-se o estudo térmico do projeto B, projeto esse que ainda não estava ao abrigo dos Regulamentos e decretos atuais. Neste projeto houve a incorporação de isolamento térmico nas paredes e na cobertura, vidros duplos e grandes áreas de envidraçados. A maior área de vão envidraçado por fachada encontrava-se orientado para sudeste que, segundo os critérios passivos, corresponde a uma boa orientação de modo a obter ganhos solares. E uma vez que existe uma grande pala horizontal nesse vão, esses vãos envidraçados encontram-se protegidos da radiação solar na estação de arrefecimento.

Relativamente à ventilação, houve a inclusão de um exaustor do tipo ventax, melhorando os valores de renovação horária da moradia, não sendo o suficiente para que essa renovação nominal cumprisse o valor de referência de inverno do Decreto atual.

Por fim, fez-se a análise térmica de um projeto que estivesse em conformidade com os Regulamentos e Decreto-Lei atuais, projeto C, ajudando a concluir a adequabilidade do uso de sistemas passivos num edifício.

Pouco se teve de alterar nas soluções construtivas, uma vez os valores do projeto anterior eram promissores. Com o estudo dos valores limites do REH, percebeu-se que se teria de alterar algo nas paredes exteriores da instalação sanitária, uma vez que o seu U ultrapassava o U_{max} . Com a ajuda do ITE50, decidiu-se aumentar a espessura do isolamento EPS, passando de 6 para 8 cm, e com isso verificou-se o valor limite de U do Regulamento. Relativamente aos envidraçados, apenas se alterou o envidraçado orientado a sudeste da instalação sanitária, uma vez que o fator solar global do vão, com todos os dispositivos de proteção solar ativos (gT), não cumpria o valor de limite gT_{max} . Depois de uma análise das soluções possíveis decidiu-se alterar o tipo de janela, e passar para janela dupla de vidro

duplo, com caixilharia metálica com corte térmico. Ainda teve de se incluir uma proteção solar pelo exterior com estore veneziano de lâminas metálicas, de modo a verificar o valor máximo permitido.

Outra questão que se teve de abordar foi a ventilação da moradia e a renovação horária nominal de inverno, pois o valor mínimo não estava a ser cumprido. A solução foi a inclusão de uma grelha de admissão de ar auto-regulável.

Por fim, conclui-se que a moradia verificava todos os requisitos atuais e demonstrava bons valores de necessidades energéticas, confirmando que a aplicação de apenas sistemas passivos é suficiente para a redução do consumo energético de edifícios mantendo um bom ambiente interior e um maior conforto, sem a ajuda de equipamentos de climatização ou sistemas ativos.

Foi visível que a inclusão de vidros duplos nos vãos envidraçados reduziu a transmissão direta da energia solar para o interior do edifício, melhorando a temperatura interior de modo significativo.

Conclui-se que, atualmente a melhoria da qualidade dos edifícios em Portugal passa por se ter uma maior atenção no isolamento das envolventes e na correção das pontes térmicas. Pode-se implementar soluções passivas, de modo a melhorar a qualidade térmica estando de acordo com a regulamentação, nos projetos ou em construções existentes. No caso de um edifício novo, na fase de projeto deve-se levar em consideração uma correta orientação dos edifícios, assim como uma boa localização e dimensão dos vãos envidraçados. Tratando-se uma obra existente, por se introduzir isolamento térmico nas envolventes e por se definir uma correta orientação de envidraçados, melhorar-se-á a qualidade térmica do edifício em questão.

O desenvolvimento sustentável está ligado ao conceito de inovação, seja através da inovação dos processos ou da aplicação de soluções revolucionárias. E um modo de isso acontecer passa pela organização de todo o setor da construção, mudando mentalidades de forma geral, desde o promotor ao consumidor.

Ainda existe um grande comodismo e uma despreocupação ambiental por parte do povo português. Muitos não estão preparados para investir numa construção sustentável, como é o caso dos sistemas passivos, preferindo enredar por outros caminhos mais fáceis, com a compra constante de ar-condicionado, utilização das lareiras, salamandras, recuperadores de calor, etc, de modo a climatizar as residências. Como os edifícios construídos antes de 1990 não tinham requisitos térmicos a cumprir, muitos deles não possuem isolamento térmico e acústico. Há, então, uma oportunidade para corrigir essa questão e melhorar termicamente muitas habitações que necessitam de ajuda ativa na sua climatização interior.

5.2. Desenvolvimentos futuros

Para possíveis desenvolvimentos futuros da dissertação passaria por se efetuar um estudo mais detalhado, realizando simulações de diferentes cenários onde se aplicariam diversos sistemas passivos, em diferentes localidades do território nacional.

Também se poderia estudar e comparar o custo-benefício de cada solução, assim como o período de retorno financeiro que determinadas soluções teriam relativamente a casos sem sistemas passivos aplicados.

Também se poderia efetuar um estudo mais aprofundado da ventilação natural, com recurso à norma NP1037-1.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, S., Becker, M., Krauss, D. e Gilman, C., (2010). “Not a Dry Subject: Optimizing Water Trombe Walls.” *Solar Energy Society Annual Conference 2010*, 1334–40.
- Aelenei, D., Aelenei, L., Musall, E., Cubi, E., Ayoub, J. e Belleri, A., (2013). “Design Strategies for Non-Residential Zero-Energy Buildings Lessons Learned from Task40 / Annex 52 Towards Net Zero-Energy Solar Buildings,” no. June.
- Aelenei, D., Leal, H. e Aelenei, L., (2014). “The Use of Attached-Sunspaces in Retrofitting Design: The Case of Residential Buildings in Portugal.” *Energy Procedia*. Vol. 48. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.egypro.2014.02.162.
- Amado, M., (2009). “Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos Em Cacuaco – Angola.”, Lisboa, 2009
- Amado, M. e Vida, D., (2012). “Construção sustentável – etapa de pré-conceção.” In , 1–11.
- Araújo, L. e Almeida, M. (2006). “Thermal Inertia Walls in Portuguese Traditional Rock for Passive Solar Heating of Buildings.” *Mediterranean Congress of HVAC Engineering. Sustainable Conditioning of Indoor Spaces: Proceedings of the Climamed 2006*, 277–86.
- Atanasiu, B. (2011). *Principles For Nearly Zero-Energy Buildings. Buildings*. http://www.bpie.eu/nearly_zero.html.
- Stack, A., Goulding J. e Lewis, J. (2005). “Shading Systems,” no. 3rd: 34. http://erg.ucd.ie/UCDERG/pdfs/mb_shading_systems.pdf.
- Bragança, L. e Mateus, R. (2006). “Sustentabilidade de Soluções Construtivas.” Congresso sobre construção sustentável, 2, Porto, Portugal, 2006
- Brundtland, H. (1987). “World Commission on Environment and Development.” *United Nations Commission 4* (1): 300. doi:10.1080/07488008808408783.
- Carbonari, A. (2003). “I Sistemi Solari Passivi.” Calabria, Università Mediterranea, Corso di tecnica del controllo ambientale
- Cavaco, A., Canhoto, P., Neto, J. e Neves, S. (2016). “Radiação Solar Global Em Portugal e a Sua Variabilidade, Mensal e Anual.” Relatório técnico no. Dezembro. doi:10.13140/RG.2.2.15908.27527.
- Comissao Europeia, (n.d.) “Guia da Climatização Solar.”, Rhône-Alpes e Câmara Municipal de Sintra

-
- Despacho (Extrato) nº 15793-F., (2013). “Zonamento Climático.” *Diário Da República*.
- Dragičević, M. e Lambić, M., (2009). “Numerical Study of a Modified Trombe Wall Solar Collector System.” *Thermal Science* 13 (1): 195–204. doi:10.2298/TSCI0901195D.
- EAPA. 2015. *Asphalt in Figures 2015*. Bélgica, 2016. doi:10.2832/861735.
- European Commission (2014). “EU Reference Scenario 2016.” *Energy, Transport and GHG Emissions - Trends to 2050*, 220. doi:10.2833/9127.
- European Commission (2017). *EU Transport in Figures. Statistical Pocketbook 2017*. doi:10.2832/041248.
- Simões, F., (1988). “A Parede Trombe Não Ventilada Na Casa Solar Passiva de Vale Rosal.” arquitectologia.org
- Ford, B., Schiano-Phan, R. e Zhongcheng, D. (2007). “Passive-On Project: The Passive House Standard in European Warm Climates,” 41. doi:10.1039/9781847551740-FP009.
- Gavião, J. (2014). “Edifícios Com Elevados Desempenhos.” Seminário Passive House, Anfiteatro Laginha Serafim - FCTUC, Coimbra, 31 Janeiro 2014
- Gonçalves, H. e Cabrito, P. (2004). “Edifício solar XXI um edifício energeticamente eficiente em Portugal.” XII Congreso Ibérico y VII Congreso Ibero Americano de Energía Solar Vigo, España, 14-18 Septiembre 2004
- Gonçalves, H. e Cabrito, P. (2005). “Edifício Solar XXI: : Um Edifício Energeticamente Eficiente Em Portugal,” *Ingenium*. Maio/Junho 2006: 34-37.
- Gonçalves, H. e Graça, J. (2004). *Conceitos Bioclimáticos Para Os Edifícios Em Portugal*. DGGE/IP-3E. Lisboa, Novembro 2004. doi:10.1590/S0034-71672006000500016.
- Gupta, N. e Tiwari, G. (2016). “Review of Passive Heating / Cooling Systems of Buildings,” *Energy Science and Engineering* 2016; 4(5):305–333. doi:10.1002/ese3.129.
- Instituto Nacional de Estatística (2015). *Nuts 2013: As Novas Unidades Territoriais Para Fins Estatísticos*. ISBN: 978-989-25-0341-7.
- Instituto Português da Qualidade (2002). “NP 1037-1: Ventilação e Evacuação Dos Produtos Da Combustão Dos Locais Com Aparelhos a Gás.” *Instituto Portugues Da Qualidade*. www.ipq.pt.
- Instituto Português da Qualidade (2009). “NP EN 1990:2009.” Vol. 1999.
- Jorge, D. e Lopes, R. (2017). “‘ Net Zero Buildings ’ – Applying To an Existing Building,” 81–103.

- Kibert, C. (1994). "Establishing principles and a model for sustainable construction." Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB TG 16. pp. 1 - 917. Center for Construction and Environment, University of Florida, Tampa, Florida (1994).
- Kleiven, T. (2003). "Natural Ventilation in Buildings, Architectural Concepts, Consequences and Possibilities." *Norwegian University of Science and Technology*, no. 7242: 1–11. doi:10.1002/9781119951773.
- Lamberts, R. e Triana, M. (2007). "Projeto Habitação Mais Sustentável," 94. http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-2_energia.pdf.
- Lechner, N. (2006). *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architect*. 4th ed. London.
- Bourdeau, L. (1999). *Agenda 21 on Sustainable Construction. CIB Report Publication 237*. doi:90-6363-015-8.
- Lucas, V. (2011). "Construção Sustentável - Sistema de Avaliação e Certificação." Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção
- Lucas, V. e Amado, M.(n.d.) "Construção Sustentável – Sistema de Avaliação e Certificação." Congresso Inovação na Construção Sustentável 2012. Aveiro: Edições Plataforma para Construção Sustentável, Aveiro ISBN: 978-989-95978-2-2, 2012.
- Marszal, A. e Heiselberg, P. (2009). "A Literature Review of Zero Energy Buildings (ZEB) Definitions ." *Civil Engineering*, no. 78. http://vbn.aau.dk/en/publications/a-literature-review-of-zero-energy-buildings-zeb-definitions_da50db00-eaf6-11de-b63d-000ea68e967b.html.
- Mendonça, Paulo. 2005. "Habitar Sob Uma Segunda Pele: Estratégias Para a Redução Do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas Em Climas Temperados". Tese de Doutoramento Em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005
- Miranda, P., Valente, M., Tomé, A., Trigo, R., Fátima, M., Coelho, A. e Azevedo, E. (2006). "O Clima de Portugal Nos Séculos XX e XXI." *Alterações Climáticas Em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II*, no. January 2014: 45–113.
- Moita, F. (2010). "Energia Solar Passiva." Argumentum, 2010
- Parlamento Europeu (2008). "Pacote Clima-Energia: 'Três Vintes' Até 2020," 7. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+PDF+V0//PT&language=PT>.
- Passive House Institute (2016). "Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard." *Passive House Institute*.

-
- Pinheiro, M. (2003). "Construção Sustentável – Mito Ou Realidade?" *VII Congresso Nacional de Engenharia Do Ambiente*, 10.
- Pinheiro, M. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável (in Portuguese Environment and Sustainable Construction)*. doi:10.13140/2.1.2707.8724.
- Pinto, A. e Dias, B. (2015). "Aquecimento solar passivo - ganhos diretos ," *Revista Arquitectura Lusíada*, N. 7 (1.º semestre 2015): p. 77-92. ISSN 1647-9009.
- Poggi, F., Firmino, A., Amado, M. e Pinho, F. (2015). "Natural Stone Walls in Vernacular Architecture: What Contribution towards Rural NZEB Concept?" *BSGLg [En ligne]*, 65 (2015/2) - *Varia*, URL : <https://popups.uliege.be:443/0770-7576/index.php?id=4125>.
- República Portuguesa (2017). "Terceiro PNAEE | 2017 - 2020 30 de Abril de 2017."
- Rocheta, V. e Farinha, F. (2007). "Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável." *Congr. Construção, p. 11, 2007. [11]*
- Sousa, P. e Amado, M. (2013). "Construção Sustentável – Contributo Para a Construção de Sistema de Certificação," 2º CIHEL 2013 . Lisboa, PT: LNEC, ISBN: 978-178-032-381-7, 2013.
- Tirone, L. (2007). "*Construção sustentável – Soluções Eficientes Hoje, a Nossa Riqueza de Amanhã.*" Tirone Nunes, SA. Sintra (Novembro 2007). ISBN: 978-989-20-0883-7
- Torcellini, P. e Crawley, D. (2006). "Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition." *ACEEE Summer Study Pacific Grove*, 15. doi:10.1016/S1471-0846(02)80045-2.
- TTerra (2007). *Guia Agenda 21 Local - Um Desafio Para Todos*.
- UNFCCC Conference of the Parties (COP) (2015). "Paris Climate Change Conference-November 2015, COP 21." *Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President*. 21932 (December): 32. doi:FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.
- United Nations (1996). "Habitat II." Vol. 02500.
- United Nations (2015). "Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 Para o Desenvolvimento Sustentável." *A/Res/70/1*, 1–49. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.

PÁGINAS WEB

(pordata, 2017) consultado a 7 de outubro de 2017

<https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+por+consumidor+total+e+por+tipo+de+consumo-1231-10011>

(pordata, 2017a) consultado a 7 de outubro de 2017

[https://www.pordata.pt/Portugal/Agregados+privados+com+os+principais+equipamentos+dom%C3%A9sticos+\(percentagem\)++-191](https://www.pordata.pt/Portugal/Agregados+privados+com+os+principais+equipamentos+dom%C3%A9sticos+(percentagem)++-191)

(Publico, 2013) consultado a 10 de outubro de 2017 - <https://www.publico.pt/2013/09/06/jornal/londres-pode-voltar-a-ter-o-seu-palacio-de-cristal-27017299>

(Greensavers, 2017) consultado a 15 de outubro de 2017 - [greensavers.sapo.pt/passivhaus-uma-casa-que-poupa-ate-90-de-energia/](https://www.greensavers.sapo.pt/passivhaus-uma-casa-que-poupa-ate-90-de-energia/)

(Passiv, 2015) consultado a 15 de outubro de 2017-

[passiv.de/en/03_certification/02_certification_buildings/02_certification_buildings.htm](https://www.passiv.de/en/03_certification/02_certification_buildings/02_certification_buildings.htm)

(Ciamh, sem data) consultado a 2 de novembro de 2017 - <https://www.ciamh.up.pt/arpa/instituto-comunicacoes-portugal/>

(Azsolarcenter, 1999) consultado a 6 de novembro de 2017 - <https://www.azsolarcenter.org/passive-solar-heating-cooling-manual-part-2-of-4>

(Ecoedility, sem data) consultado a 15 de novembro de 2017 - <https://www.ecoedility.it>

(Planetacad, 2010) consultado a 17 de novembro de 2017 - <https://www.planetacad.com>

(Sustentarqui, 2014) consultado a 17 de novembro de 2017 -

<http://sustentarqui.com.br/dicas/importancia-da-ventilacao-natural-para-arquitetura-sustentavel>

(Panoramio, sem data) consultado a 9 de dezembro de 2017-

<http://www.panoramio.com/photo/24711905>

(Lidera, 2007) consultado a 9 de dezembro de 2017 -

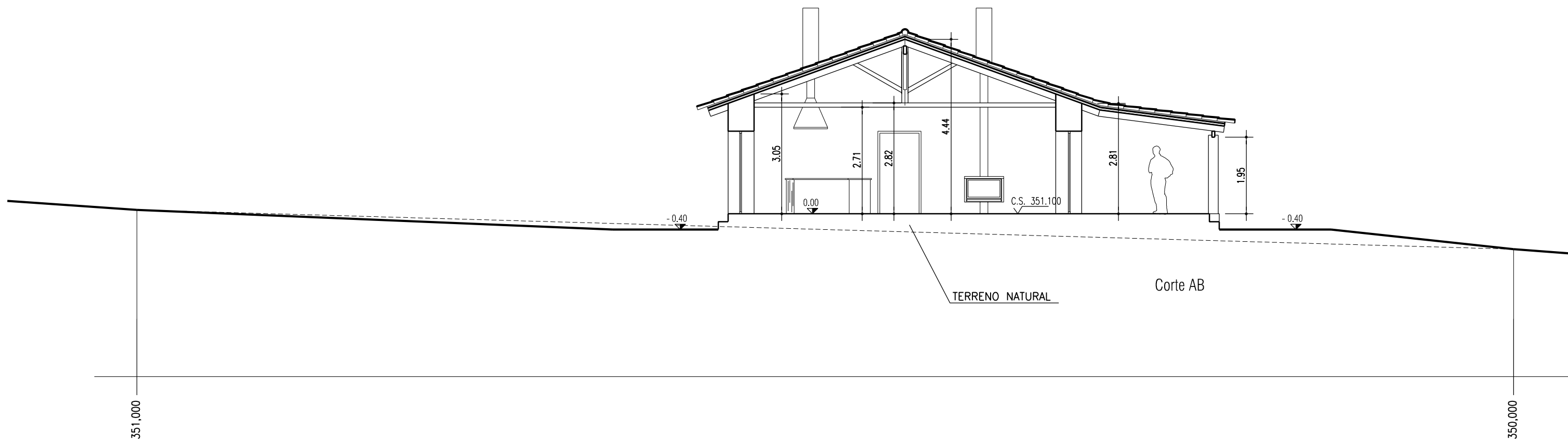
<http://www.lidera.info/?p=MenuContPage&MenuId=19&ContId=25>

(Archdaily, sem data) consultado a 10 de dezembro de 2017 - <https://www.archdaily.com/6657/house-in-romeirao-arx/500fff4b28ba0d42220002fd-house-in-romeirao-arx-image>

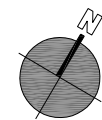
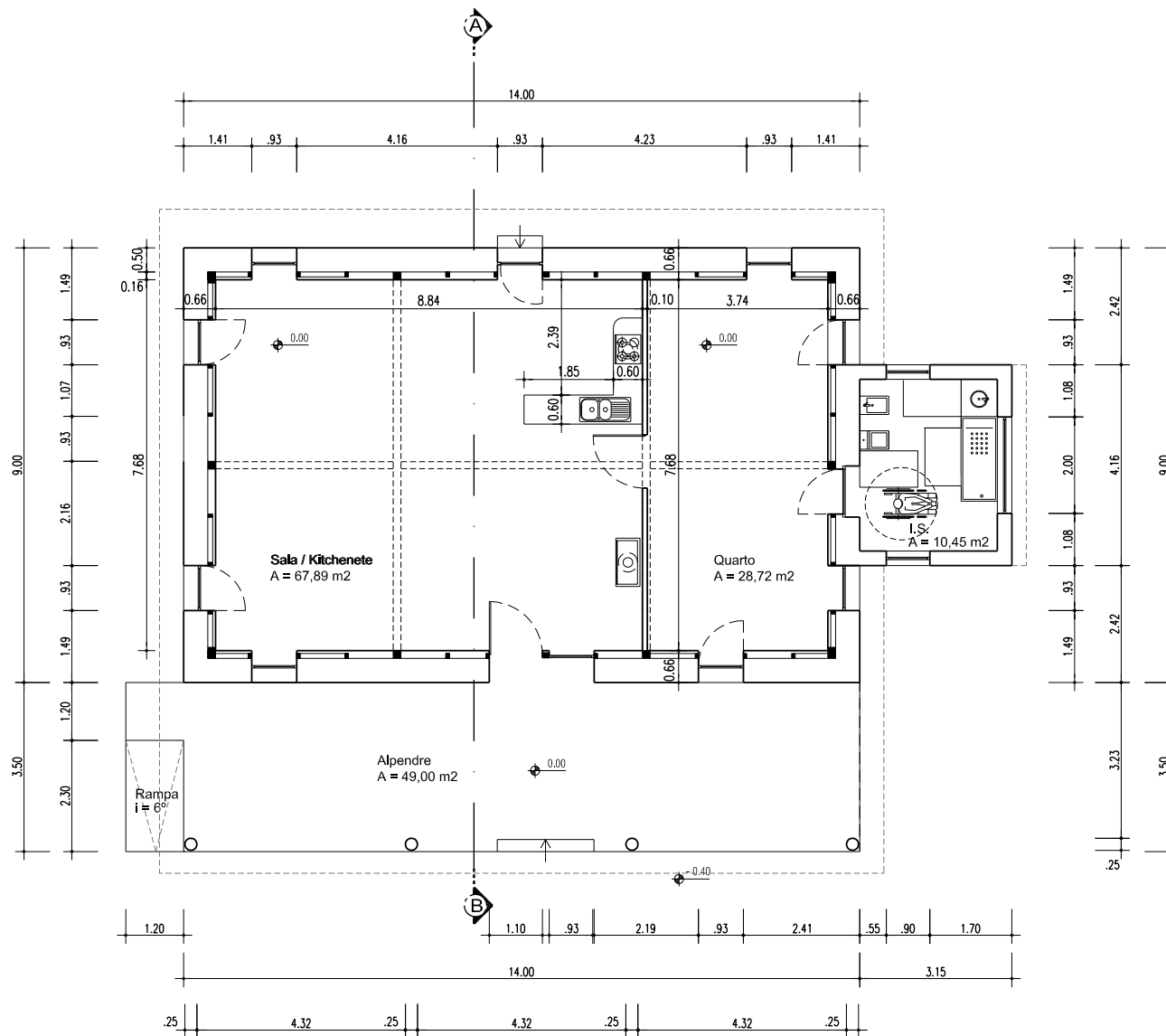
(Arx, sem data) consultado a 10 de dezembro de 2017 - <http://arx.pt/projecto/casa-no-romeirao/>

ANEXOS

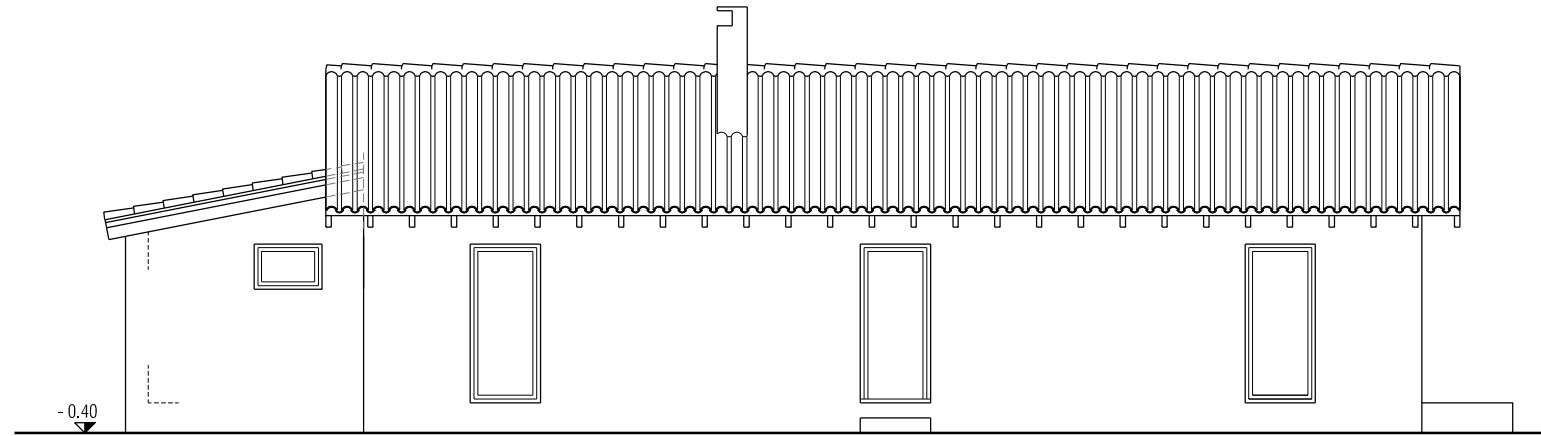
A. ELEMENTOS GERAIS DA MORADIA



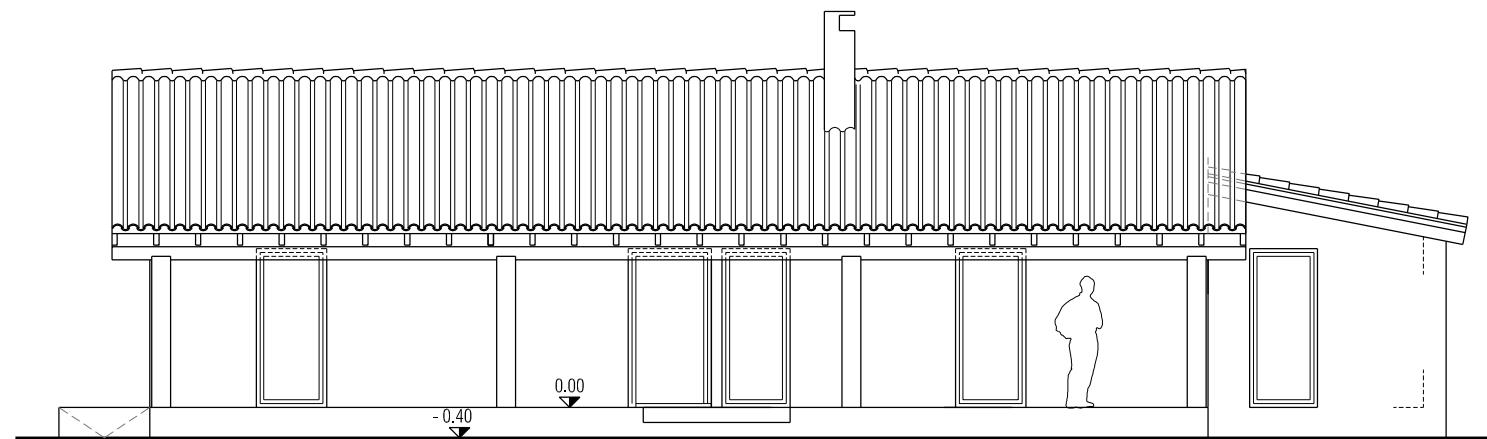
Dono da obra / Requerente	Ana Cadima	Data	2010-04-22	02a
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova	Escalas	1:100	
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Arquitectura	Referência	100203-HIN-AP-02a	
Desenho	Perfil terreno e corte da habitação	Substitui	100201-HIN-AP-02a	
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração	
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Bernardo Lino		



Dono da obra / Requerente	Ana Cadima		Data	2010-04-22
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova		Escalas	1:100
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Arquitectura		Referência	100203-HIN-AP-03
Desenho	Planta do piso 0		Substitui	100201-HIN-AP-03
Autoria / Coordenação	Arquitetura	Engenharia	Colaboração	
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Bernardo Lino		



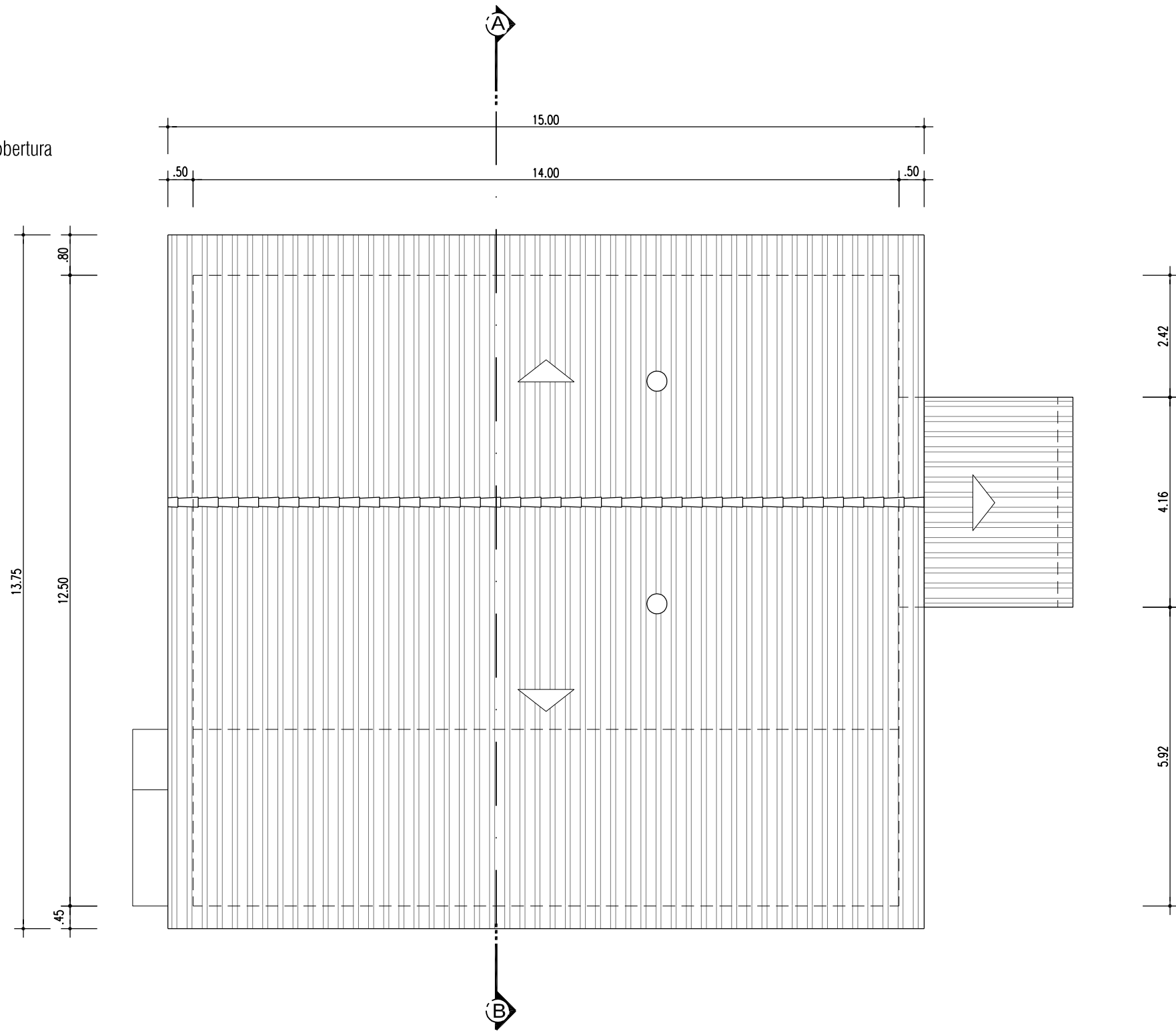
Alçado posterior



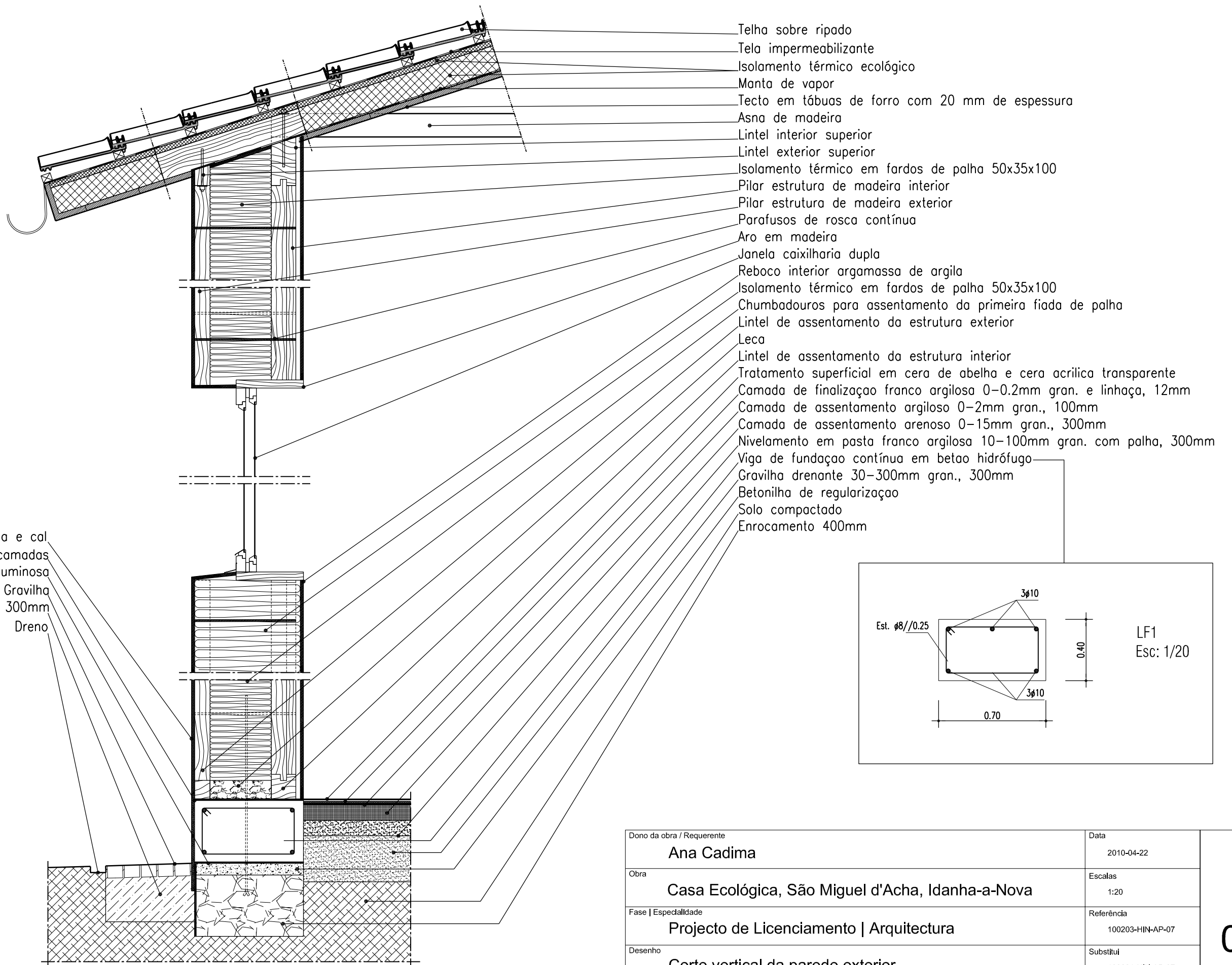
Alçado principal

Dono da obra / Requerente Ana Cadima		Data 2010-04-22	05
Obra Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova		Escalas 1:100	
Fase Especialidade Projecto de Licenciamento Arquitectura		Referência 100203-HIN-AP-05	
Desenho Alçados		Substitui 100201-HIN-AP-05	
Autoria / Coordenação Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Arquitectura Engenharia Colaboração Bernardo Lino	

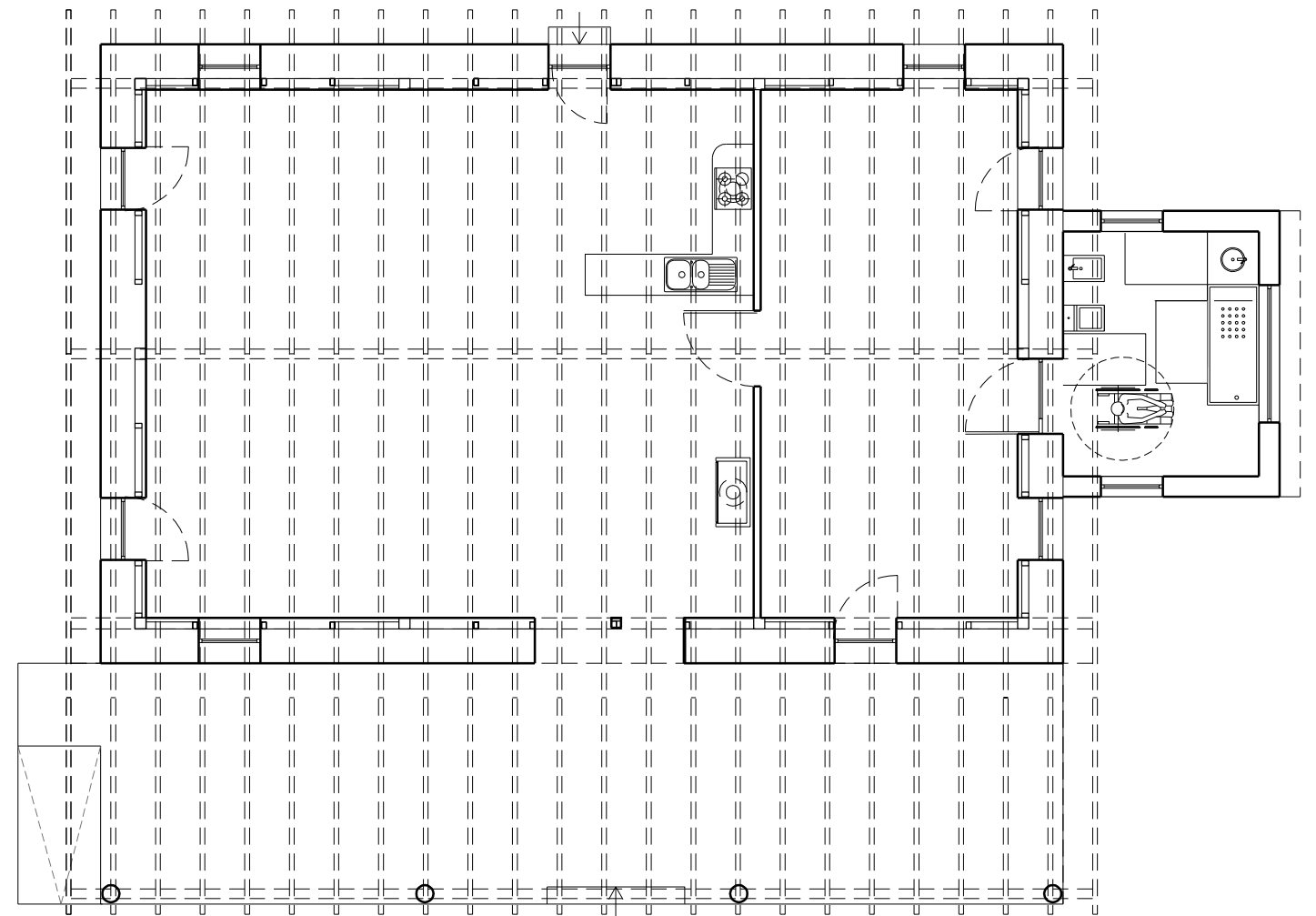
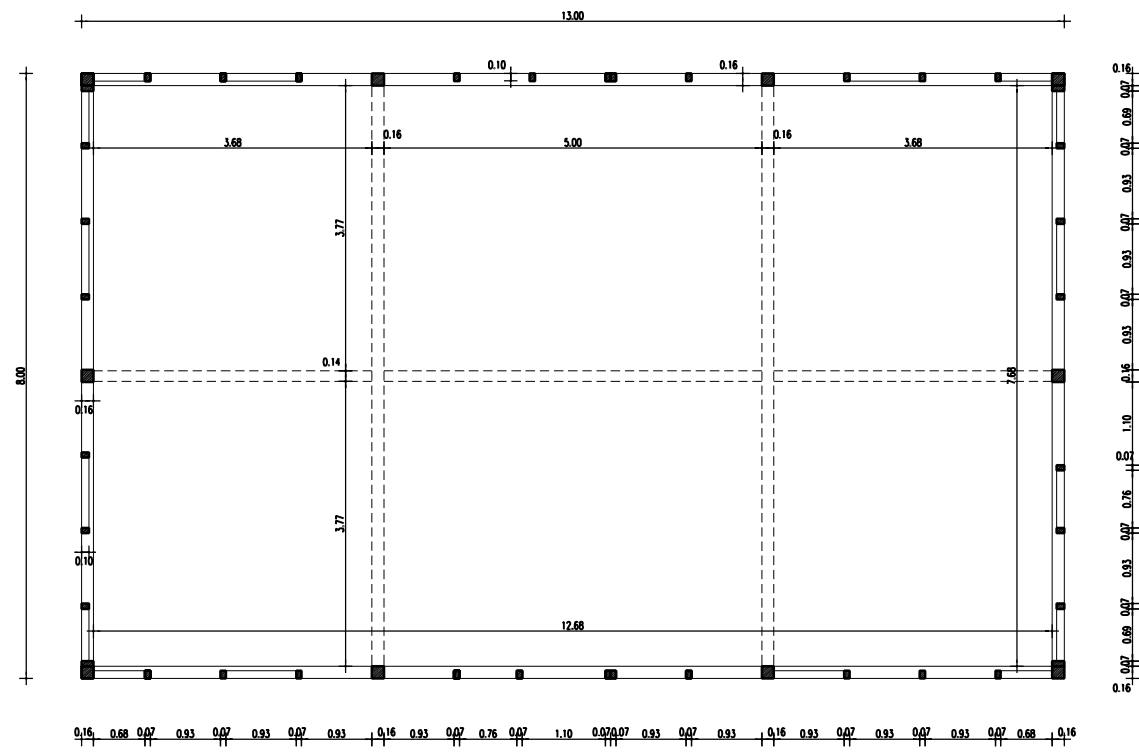
Planta de cobertura



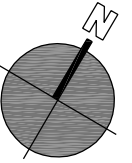
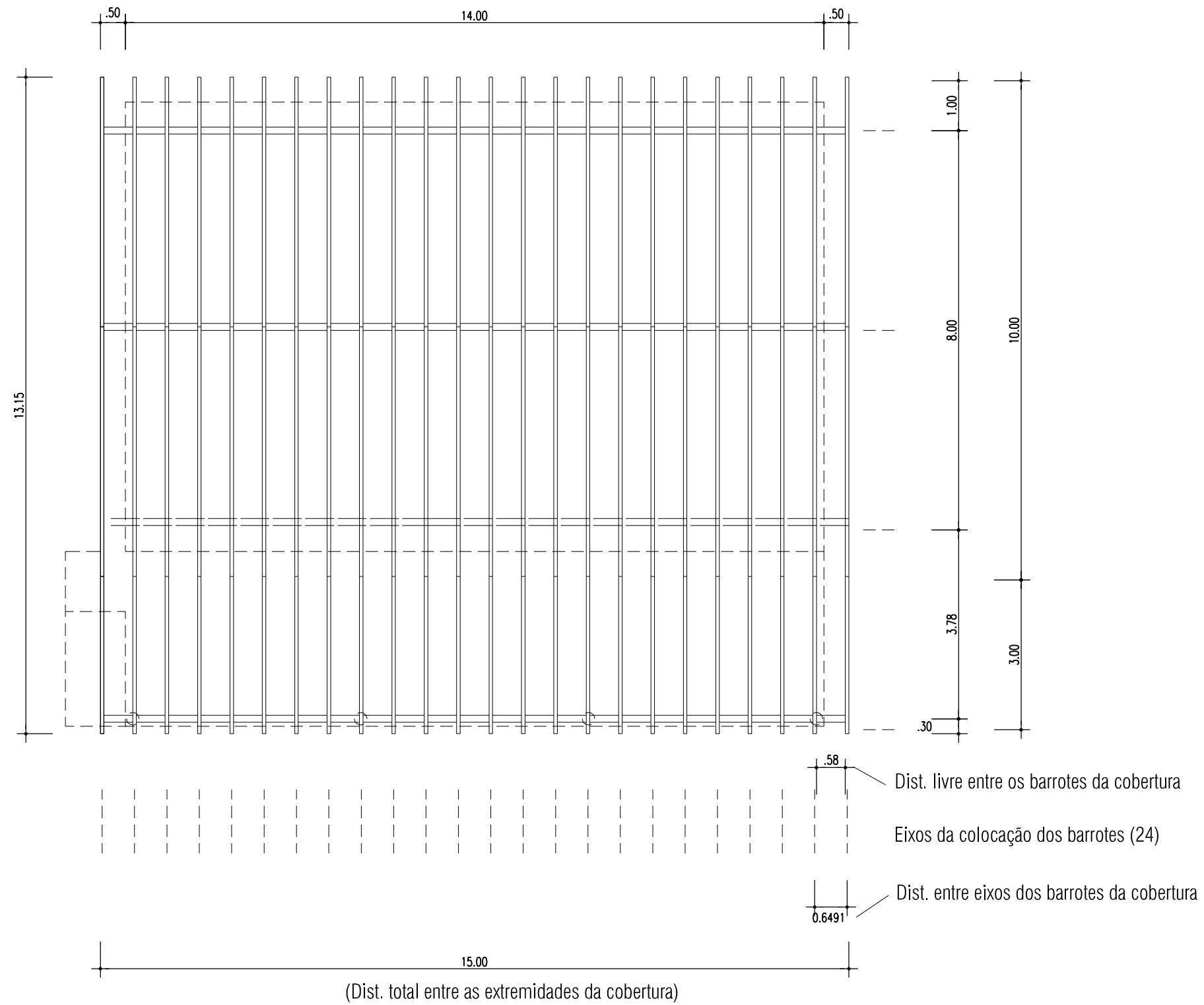
Dono da obra / Requerente	Ana Cadima	Data	2010-04-22	06
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova	Escalas	1:100	
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Arquitectura	Referência	100203-HIN-AP-06	
Desenho	Planta da cobertura	Substitui	100201-HIN-AP-06	
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração	
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Bernardo Lino		



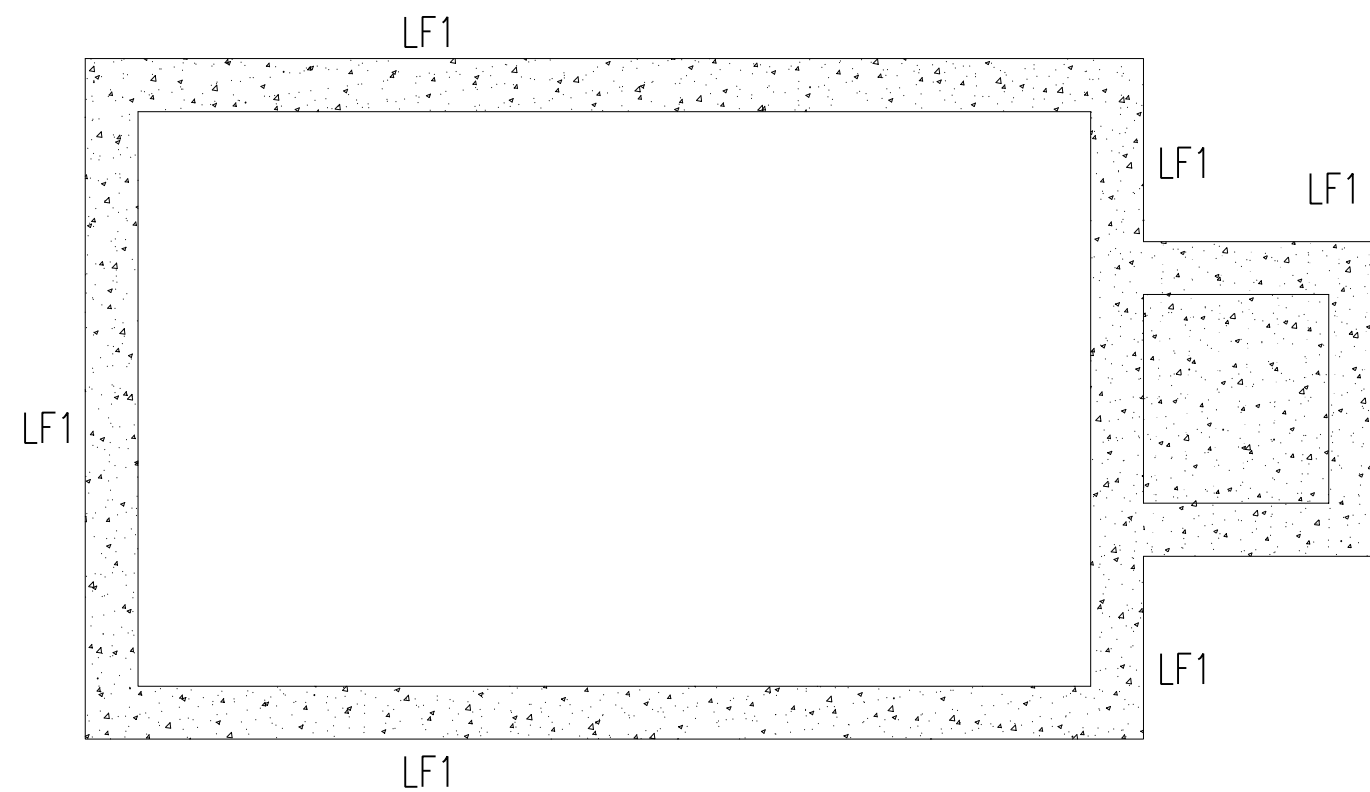
Dono da obra / Requerente	Ana Cadima			Data	2010-04-22
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova			Escala	1:20
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Arquitectura			Referência	100203-HIN-AP-07
Desenho	Corte vertical da parede exterior			Substitui	100201-HIN-AP-07
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração		
Zonaland, Unipessoal Lda			Bernardo Lino		
Marvão - 245993078					
zonaland@gmail.com					



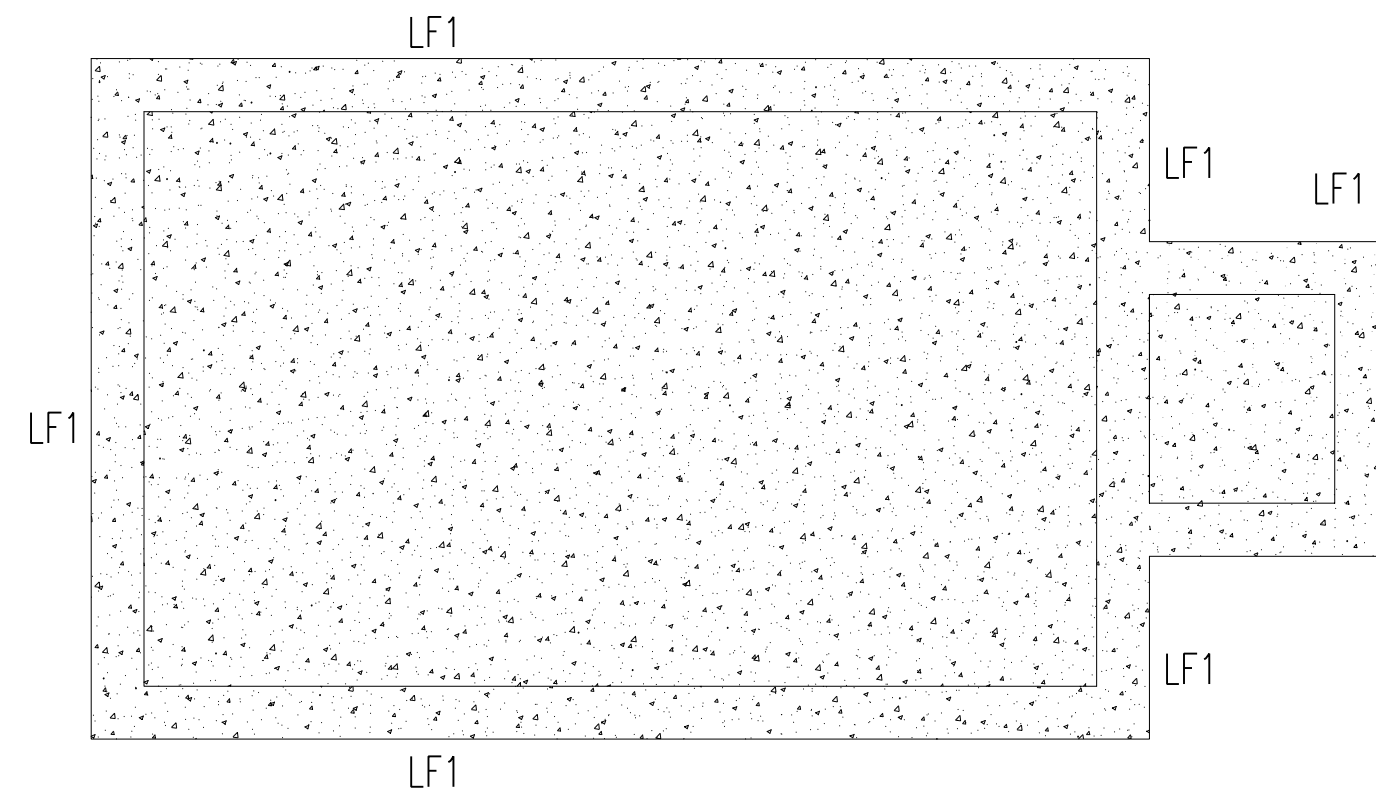
Dono da obra / Requerente Ana Cadima		Data 2010-04-22	08
Obra Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova		Escalas 1:100	
Fase Especialidade Projecto de Licenciamento Estrutura		Referência 100203-HIN-AP-08	
Desenho Plantas		Substitui 100201-HIN-AP-08	
Autoria / Coordenação Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Arquitectura Engenharia Colaboração Bernardo Lino	



Dono da obra / Requerente	Ana Cadima	Data	2010-04-22	09
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova	Escalas	1:100	
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Estrutura	Referência	100203-HIN-AP-09	
Desenho	Planta da cobertura	Substitui	100201-HIN-AP-09	
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração	
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Bernardo Lino		

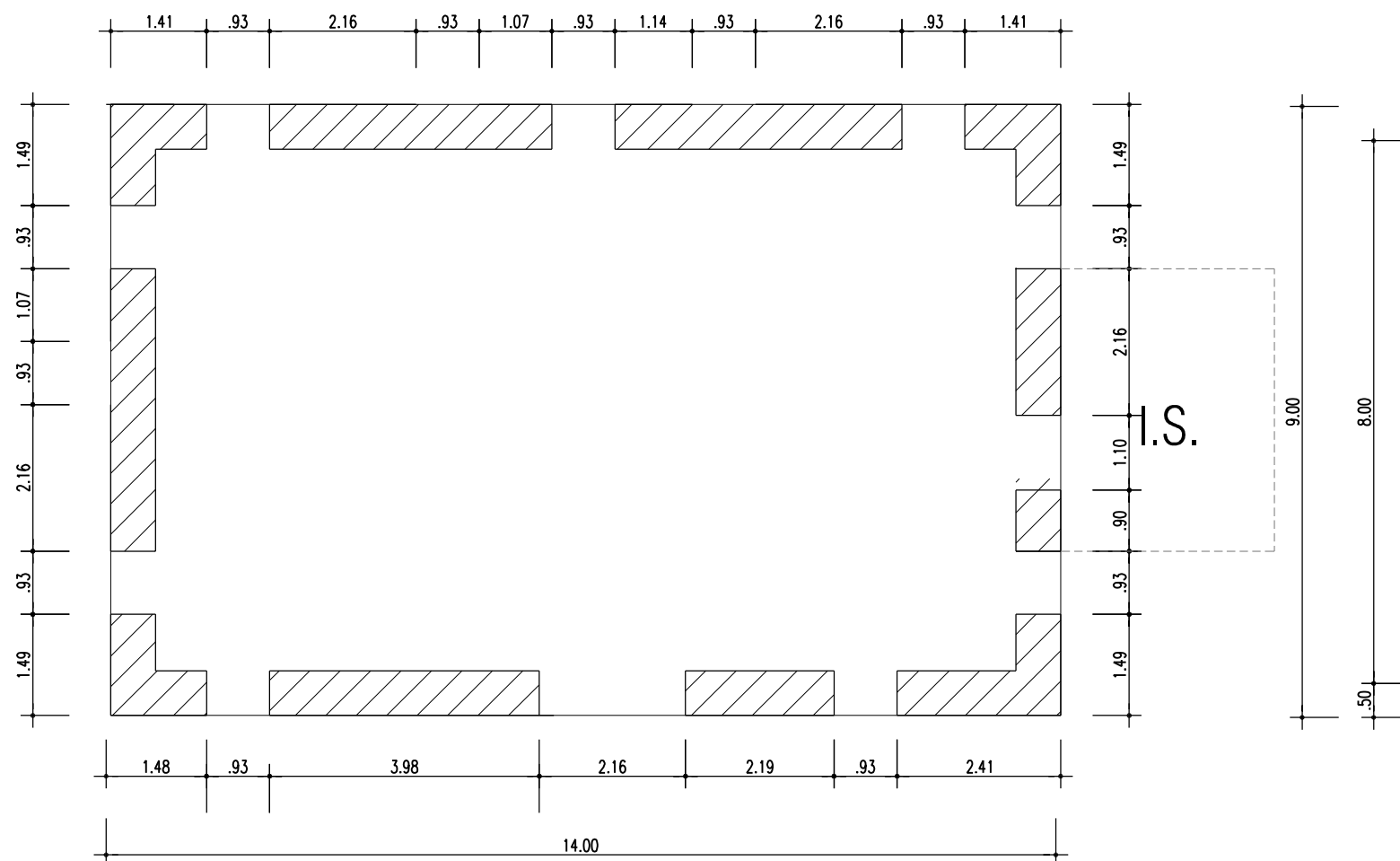


Planta de Fundações

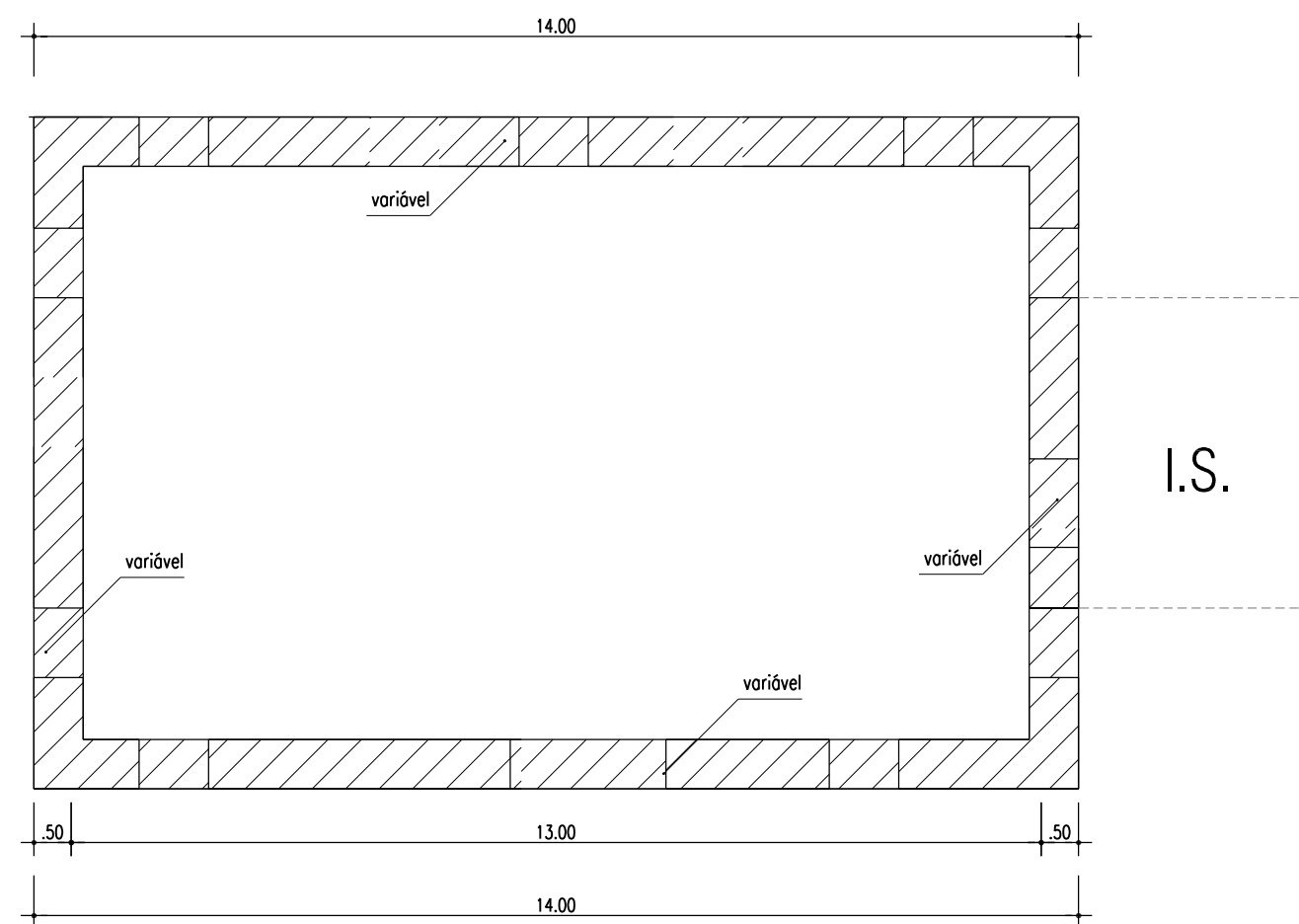


Planta de Massame

Dono da obra / Requerente	Ana Cadima	Data	2010-04-22	10
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova	Escalas	1:100	
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Fundações	Referência	100203-HIN-AP-10	
Desenho	Planta	Substitui	100201-HIN-AP-10	
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração	
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Bernardo Lino		

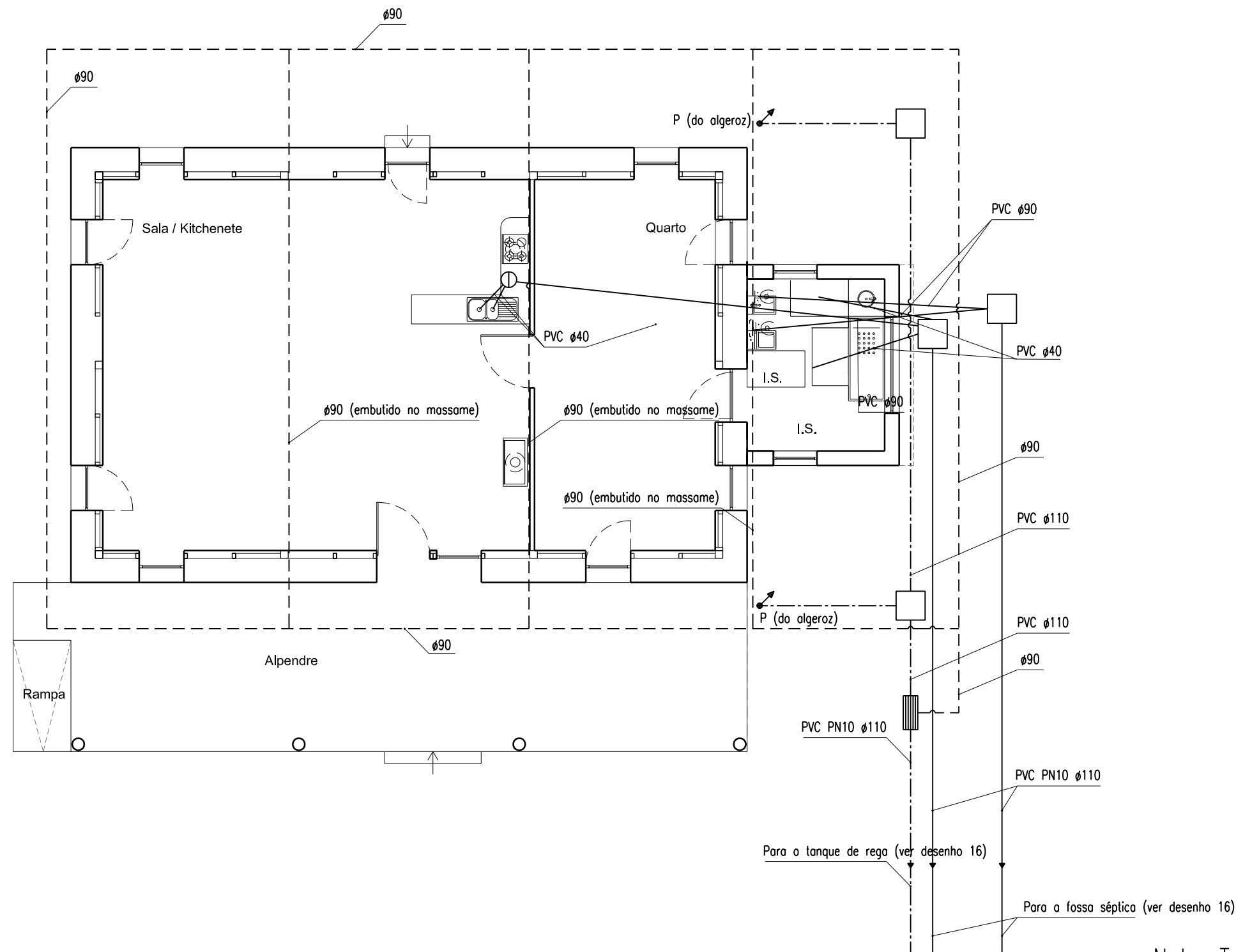


Corte 1 - 1

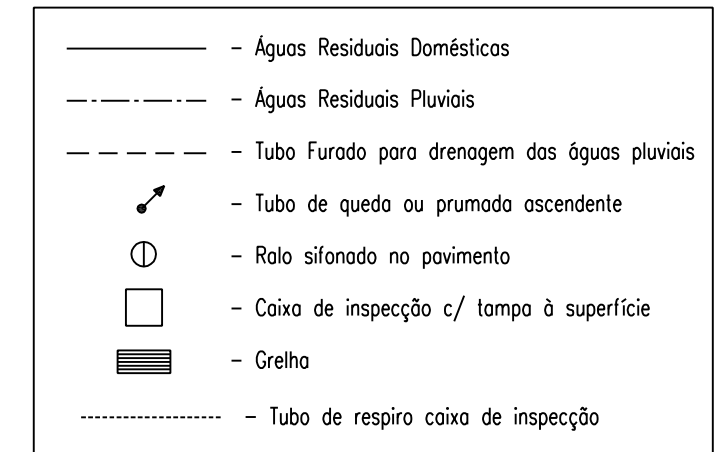


Corte 2 - 2

Dono da obra / Requerente Ana Cadima	Data 2010-04-22	11
Obra Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova	Escala 1:100	
Fase Especialidade Projecto de Licenciamento Fundações	Referência 100203-HIN-AP-11	
Desenho Cortes	Substitui 100201-HIN-AP-11	
Autoria / Coordenação Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com	Arquitetura Engenharia Colaboração Bernardo Lino	



ESGOTOS



Materiais

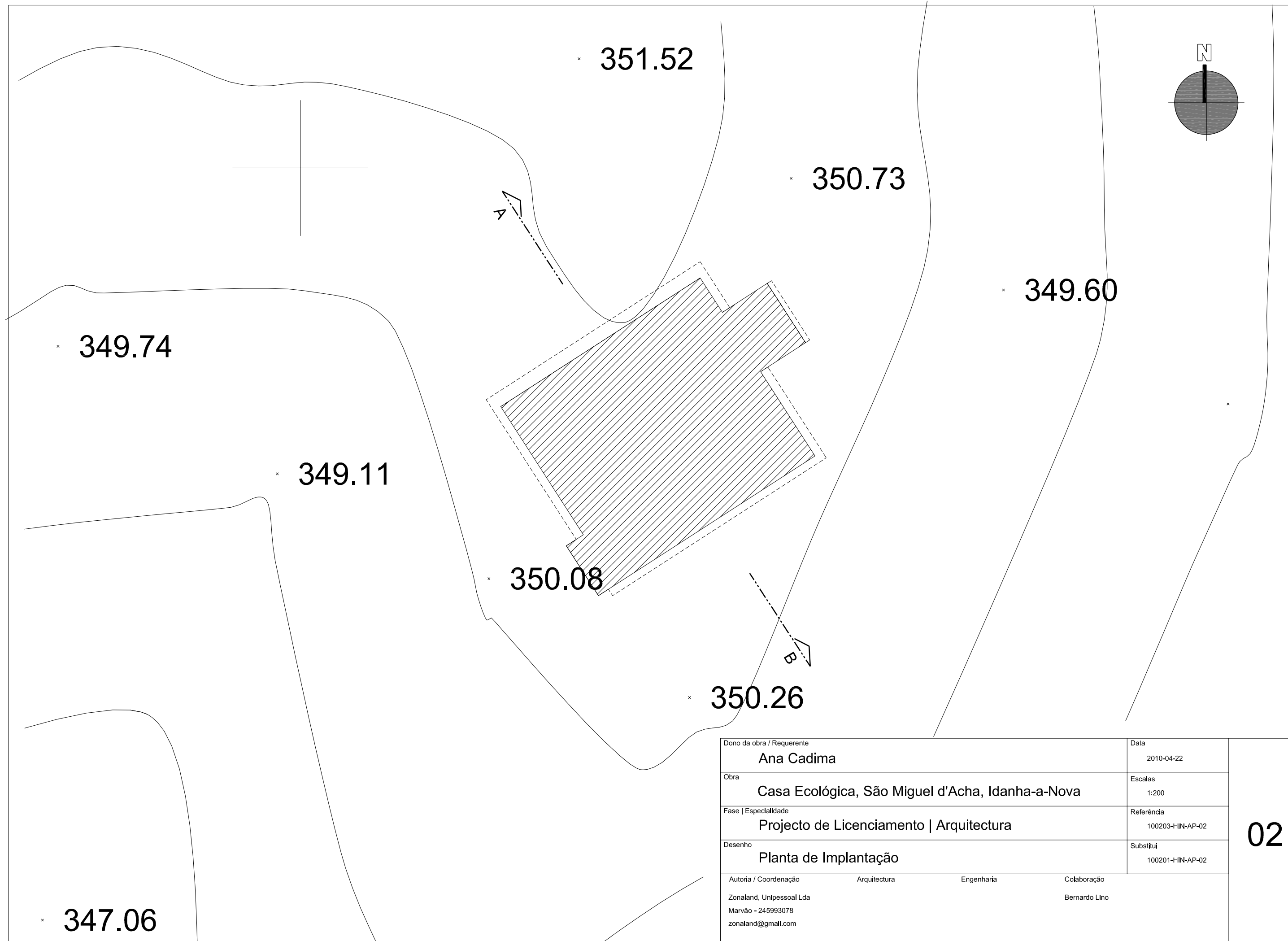
- Todas as canalizações residuais serão em PVC PN6 e as de ventilação em PVC PN4.

Nota:

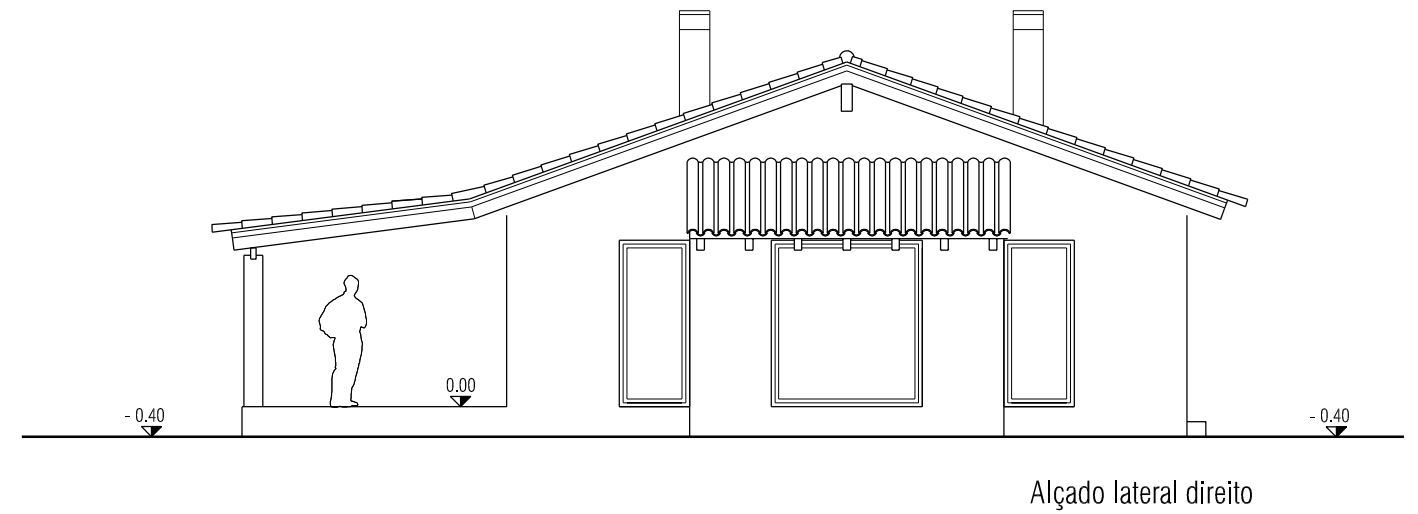
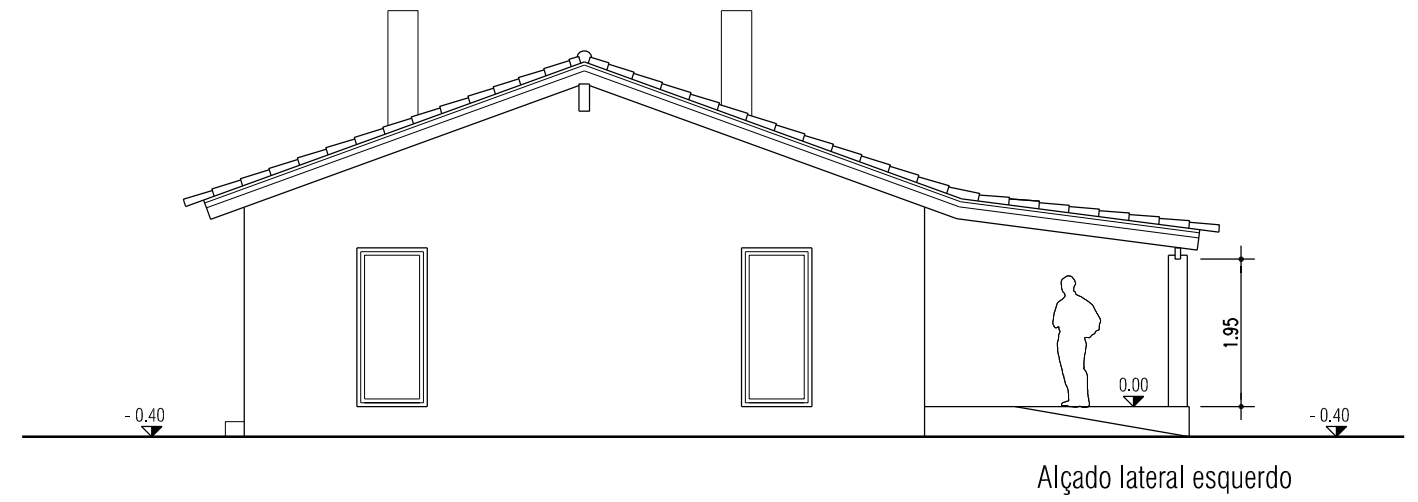
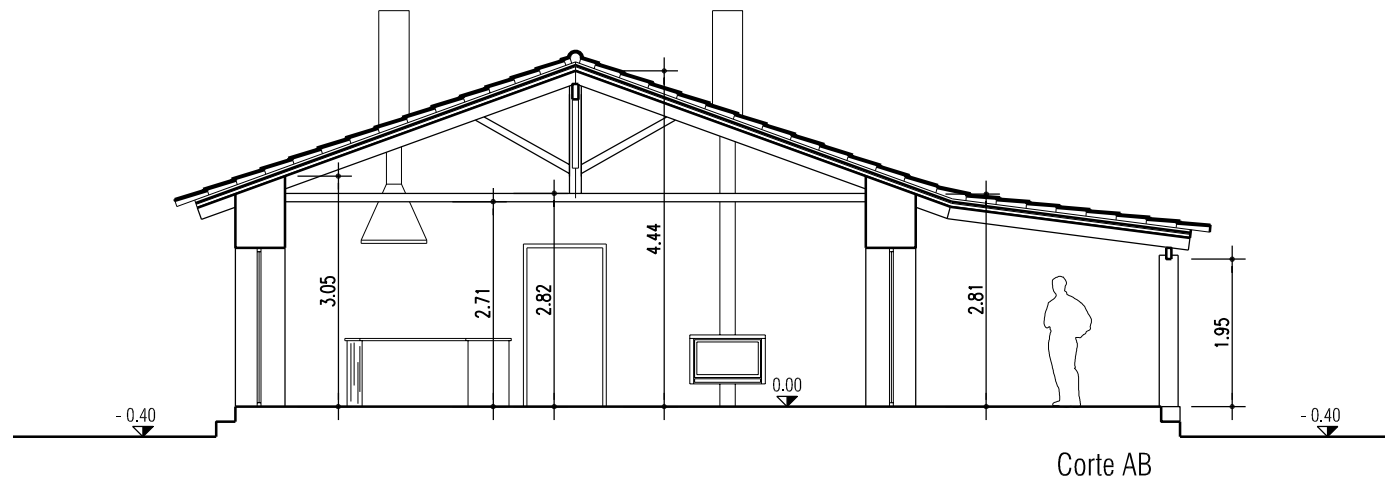
- 1 - Os materiais constituintes, as características gerais e as formas e as dimensões respetivas são indicadas na norma portuguesa NP 882.
- 2 - O betão constitutivo das câmaras será B25 e o aço das armaduras A235.
- 3 - As soleiras devem ser rebocadas com argamassa de 400 kg de cimento por metro cúbico (1:3 em volume), a espessura do reboco de, no máximo, 2 cm.

Nota: Todas as caixas de inspeção terão 0.40x0.40m

Dono da obra / Requerente		Data	
Ana Cadima		2010-04-22	
Obra		Escala	
Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova		1:100	
Fase Especialidade		Referência	
Projecto de Licenciamento Esgotos		100203-HIN-AP-14	
Desenho		Substitui	
Planta do piso 0		100201-HIN-AP-14	
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com			Bernardo Lino



Dono da obra / Requerente	Ana Cadima	Data	2010-04-22
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova	Escalas	1:200
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Arquitectura	Referência	100203-HIN-AP-02
Desenho	Planta de Implantação	Substitui	100201-HIN-AP-02
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração
Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com			Bernardo Lino



Dono da obra / Requerente	Ana Cadima		Data	2010-04-22	04
Obra	Casa Ecológica, São Miguel d'Acha, Idanha-a-Nova		Escala	1:100	
Fase Especialidade	Projecto de Licenciamento Arquitectura		Referência	100203-HIN-AP-04	
Desenho	Corte AB e Alçados		Substitui	100201-HIN-AP-04	
Autoria / Coordenação	Arquitectura	Engenharia	Colaboração		
	Zonaland, Unipessoal Lda Marvão - 245993078 zonaland@gmail.com		Bernardo Lino		

B. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DOS PROJETOS

B1. Caracterização construtiva do projeto A

B1.1. Áreas das divisões

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	% Área	Volume [m ³]
Sala/Kitchenete	67,89	3,60	70,3	244,40
Quarto	28,72	3,60	29,7	103,39
TOTAL	96,610	3,600	100,0	347,80

B1.2. Parede Exterior (PDE)

Parede Exterior			
Constituição	di [m]	U [W/m ² .°C]	Referência
Granito	0,50	2,00	ITE 54, LNEC

B1.3. Orientação de vãos por áreas

Áreas por orientação [m ²]								Área Total [m ²]
N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
0,00	27,78	0,00	28,14	0,00	28,90	0,00	30,45	115,28

B1.4. Cobertura (CB)

Tipo de solução	Área Total [m ²]	U asc [W/m ² .°C]
Cobertura leve inclinada sem isolamento térmico	97,38	3,8

B1.5. Pavimento Térreo (PVT)

Pavimento Térreo				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m ² °C)/W]	Referencia
Cascalho	0,20	2	0,1	ITE 50, LNEC
Terra compactada	0,10	1,1	0,09	ITE 50, LNEC
Soalho em pinho (madeira densa)	0,025	0,23	0,108	ITE 50, LNEC
TOTAL	0,325		0,298	
Ap [m ²]			97,4	
P [m]			40,72	
B' = Ap/(0,5*P)			4,78	
Zponderado [m]			0	
Ubf (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793 - K/2013, tabela 03				0,58

B1.6. Vãos envidraçados exteriores (VEE)

Divisão	Orientação	Área Envidraçada [m ²]	Tipo de vidro	$g_{\perp,vi}$	$g_{\perp T}$	g_T corrigido	Uwdn [W/m ² °C]
Sala/Kitchenete	Noroeste	0,98	simples	0,88	0,38	0,30	4,3
Sala/Kitchenete	Sudoeste	1,96	simples	0,88	0,38	0,30	4,3
Sala/Kitchenete	Sudeste	2,93	simples	0,88	0,38	0,19	4,3
Quarto	Noroeste	0,98	simples	0,88	0,38	0,30	4,3
Quarto	Sudeste	0,98	simples	0,88	0,38	0,19	4,3
Quarto	Nordeste	2,05	simples	0,88	0,38	0,34	4,3

B1.7. Vãos opacos exteriores – Portas

Designação	Área [m ²]	Orientação	U [W/m ² .°C]
Porta de madeira muito densa (4 cm)	1,95	Noroeste	3,6
Porta de madeira muito densa (4 cm)	2,31	Sudeste	3,6

B1.8. Inércia térmica

Elementos da envolvente exterior						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
PD	Noroeste	30,45	1122,2	150	1	4568,1
PD	Nordeste	27,78	1122,2	150	1	4167,15
PD	Sudeste	28,14	1122,2	150	1	4221,6
PD	Sudoeste	28,90	1122,2	150	1	4334,55
TOTAL						17291,4
Cobertura exterior						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
CB		97,38	150	150	1	14607,36
TOTAL						14607,36
Pavimentos térreos						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
PVT		97,38	250	250	1	24350
TOTAL						24350
Elementos de compartimentação						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
PDI (esp. 10 cm)		24	120	120	1	2880
TOTAL						2880
It			612,04			
Classe de inercia térmica			Forte			

B1.9. Ventilação

Nota: projeto não cumpre a NP 1037-1

RPH estimada condições nominais [h-1]	Rph,i [h-1] - Aquecimento	Rph,v [h-1] - Arrefecimento	Req. mínimo de ventilação [h-1]
0,10	0,40	0,60	0,30

B2. Caracterização construtiva do projeto B

B2.1. Áreas das divisões

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	% Área	Volume [m ³]
Sala/Kitchenete	67,89	2,71	63,4	183,98
Quarto	28,72	2,71	26,8	77,83
Instalação sanitária	10,45	2,71	9,8	28,32
TOTAL	107,06	2,71	100,0	290,13

B2.2. Paredes Exteriores (PDE_1) (PDE_2)

Parede Exterior 1 (PDE_1)				
Constituição	di [m]	λ [W/(m.°C)]	Ri [m ² °C/W]	Referência
Reboco de argila e cal	0,03	0,75	0,04	ITE 50, LNEC
Palha	0,5	0,045-0,07	7,45	
Reboco em argamassa de argila	0,02	0,75	0,03	ITE 50, LNEC
TOTAL	0,55		7,52	
Rsi			0,13	
Rse			0,04	
Resistência térmica total			7,692	
U [W/m².C°]			0,13	

Parede Exterior 2 (PDE_2)			
Constituição	di [m]	U [W/m ² .°C]	Referência
Parede simples com ETICS com isolamento EPS (6 cm)	0,272	0,55	ITE 50, LNEC

B2.3. Orientação de vãos por áreas

Tipo de Solução	Áreas por orientação [m ²]								Área Total [m ²]	U solução [W/m ² .°C]
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO		
PDE_1	0,00	5,40	0,00	26,19	0,00	16,90	0,00	28,50	76,99	0,13
PDE_2	0,00	3,41	0,00	5,81	0,00	0,00	0,00	7,18	16,40	0,55

B2.4. Ângulos das palas nas paredes exteriores

Designação do Tipo de solução	Orientação	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda β_{esq}°	Pala vertical à direita β_{dir}°
PDE_1	Noroeste	28,17	-	-
PDE_2	Noroeste	-	33,7	-
PDE_1	Nordeste	16,38	15,6	15,6
PDE_2	Nordeste	25,46	-	-
PDE_1	Sudeste	60	-	-
PDE_2	Sudeste	-	-	33,7
PDE_1	Sudoeste	16,38	-	-

B2.5. Cobertura (CB)

Tipo de solução	Área Total [m ²]	U asc [W/m ² .°C]
Cobertura com isolamento nas vertentes inclinadas	107,5	0,23

B2.6. Pavimento Térreo (PVT)

Pavimento Térreo				
Constituição	di [m]	λ [W/(m.°C)]	Rj [(m ² °C)/W]	Referencia
Gravilha	0,3	2	0,15	ITE 50, LNEC
Pasta franco argilosa	0,3	1,5	0,2	ITE 50, LNEC
Areia	0,3	2	0,15	ITE 50, LNEC
Argila	0,1	1,5	0,066	ITE 50, LNEC
Finalização franco argilosa	0,012	1,5	0,008	ITE 50, LNEC
TOTAL	1,012		0,574	
Ap [m ²]			107,06	
P [m]			46,49	
B' = Ap/(0,5*P)			4,6	
Zponderado [m]			0	
Ubf (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793 - K/2013, tabela 03				0,50

B2.7. Vãos envidraçados exteriores (VEE)

Divisão	Orientação	Área Envidraçada [m ²]	Tipo de vidro	g _{L,vi}	g _{L,T}	g _T corrigido	U _{wdn} [W/m ² °C]
Sala/Kitchenete	Noroeste	3,91	Duplos	0,6	0,6	0,47	1,1
Sala/Kitchenete	Sudoeste	3,91	Duplos	0,6	0,6	0,48	1,1
Sala/Kitchenete	Sudeste	6,22	Duplos	0,6	0,6	0,3	1,1
Quarto	Noroeste	1,95	Duplos	0,6	0,6	0,47	1,1
Quarto	Sudeste	1,95	Duplos	0,6	0,6	0,23	1,1
Quarto	Nordeste	4,09	Duplos	0,6	0,6	0,38	1,1
I.S.	Noroeste	0,54	Duplos	0,6	0,6	0,41	1,1
I.S.	Nordeste	4,4	Duplos	0,6	0,6	0,36	1,1
I.S.	Sudeste	1,89	Duplos	0,6	0,6	0,54	1,1

B2.8. Ângulos das palas nos vãos envidraçados

Divisão	Orientação	Sombreamento Arrefecimento = Sombreamento Aquecimento?	ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO			
			Obstrução do Horizonte α_h °	Pala horizontal α °	Pala vertical à esquerda β_{esq} °	Pala vertical à direita β_{dir} °
Sala/Kitchenete	Noroeste	Sim	20	45	-	-
Sala/Kitchenete	Sudoeste	Sim	20	19,3	-	-
Sala/Kitchenete	Sudeste	Sim	20	60	-	-
Quarto	Noroeste	Sim	20	45	-	-
Quarto	Sudeste	Sim	45	60	81,6	-
Quarto	Nordeste	Sim	45	19,3	-	81,6
I.S.	Noroeste	Sim	45	-	67,5	-
I.S.	Nordeste	Sim	45	25,46	-	67,5
I.S.	Sudeste	Sim	20	-	-	-

B2.9. Ventilação

Foi usada uma ferramenta de calculo exterior (Ferramenta de cálculo de ventilação REH-ITeCons). Nota: Não cumpre a NP 1037-1.

B2.9.1. Enquadramento do edifício

Tipo de edificio	Existente
Concelho	Idanha-a-Nova
Altitude (m)	350
Região	A
Rugosidade	III
Área útil (m ²)	107,06
Pé direito (m)	2,71
Volume (m ³)	290,13
Texterior (°C)	9,00
Altitude ref. (m)	328,00
A _{ENV} / A _U	27,0%
Classe de permeabilidade ao ar das janelas	2

B2.9.2. Conduas de ventilação natural, conduas com exaustor/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta

Tipo de escoamento	Exaustores tipo ventax?	Perda de carga	Tipo de cobertura	Número de conduas semelhantes	Altura da conduta (m)
Exaustão	Sim	Alta	Inclinada (10° a 30°)	1	2,00

B2.9.3. Taxa de renovação horária

RPH estimada condições nominais [h-1]	Rph,i [h-1] - Aquecimento	Rph,v [h-1] - Arrefecimento	Req. mínimo de ventilação [h-1]
0,30	0,40	0,60	0,40

B2.10. Inércia térmica

Elementos da envolvente exterior						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
PDE_1	Noroeste	28,5	30	30	1	855,11
PDE_2	Noroeste	7,1	30	30	1	215,51
PDE_1	Nordeste	5,4	30	30	1	161,85
PDE_2	Nordeste	3,41	30	30	1	102,3
PDE_1	Sudeste	26,19	30	30	1	785,73
PDE_2	Sudeste	5,81	30	30	1	174,3
PDE_1	Sudoeste	16,90	30	30	1	507,12
TOTAL						2801,92
Cobertura exterior						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
CB		107,06	30	30	1	3225
TOTAL						3225
Pavimentos térreos						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
PVT		107,06	250	250	1	26765
TOTAL						26765
Elementos de compartimentação						
Designação	Orientação	Área [m ²]	Massa Total [Kg/m ²]	Msi	r	A*Msi*r
PDI (esp. 10 cm)		21	45	45	1	945
TOTAL						945
It			315,12			
Classe de inercia térmica			Média			

B3. Caracterização construtiva do projeto C

B3.1. Áreas das divisões

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	% Área	Volume [m ³]
Sala/Kitchenete	67,89	2,71	63,4	183,98
Quarto	28,72	2,71	26,8	77,83
Instalação sanitária	10,45	2,71	9,8	28,32
TOTAL	107,06	2,71	100,0	290,13

B3.2. Paredes Exteriores (PDE_1) (PDE_2)

Parede Exterior 1 (PDE_1)				
Constituição	di [m]	λ [W/(m.°C)]	Ri [m ² °C/W]	Referência
Reboco de argila e cal	0,03	0,75	0,04	ITE 50, LNEC
Palha	0,5	0,045-0,07	7,45	
Reboco em argamassa de argila	0,02	0,75	0,03	ITE 50, LNEC
TOTAL	0,55		7,52	
Rsi			0,13	
Rse			0,04	
Resistencia térmica total			7,692	
U [W/m².C°]			0,13	

Parede Exterior 2 (PDE_2)			
Constituição	di [m]	U [W/m ² .°C]	Referência
Parede simples com ETICS com isolamento EPS (8 cm)	0,272	0,37	ITE 50, LNEC

B3.3. Orientação de vãos por áreas

Tipo de Solução	Áreas por orientação [m ²]								Área Total [m ²]	U solução [W/m ² .°C]
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO		
PDE_1	0,00	5,40	0,00	26,19	0,00	16,90	0,00	28,50	76,99	0,13
PDE_2	0,00	3,41	0,00	5,81	0,00	0,00	0,00	7,18	16,40	0,

B3.4. Palas em paredes exteriores

Designação do Tipo de solução	Orientação	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda β_{esq}°	Pala vertical à direita β_{dir}°
PDE_1	Noroeste	28,17	-	-
PDE_2	Noroeste	-	33,7	-
PDE_1	Nordeste	16,38	15,6	15,6
PDE_2	Nordeste	25,46	-	-
PDE_1	Sudeste	60	-	-
PDE_2	Sudeste	-	-	33,7
PDE_1	Sudoeste	16,38	-	-

B3.5. Cobertura (CB)

Tipo de solução	Área Total [m ²]	U asc [W/m ² .°C]
Cobertura com isolamento nas vertentes inclinadas	107,5	0,23

B3.6. Pavimento Térreo (PVT)

Pavimento Térreo				
Constituição	di [m]	λ [W/(m.°C)]	Rj [(m ² °C)/W]	Referencia
Gravilha	0,3	2	0,15	ITE 50, LNEC
Pasta franco argilosa	0,3	1,5	0,2	ITE 50, LNEC
Areia	0,3	2	0,15	ITE 50, LNEC
Argila	0,1	1,5	0,066	ITE 50, LNEC
Finalização franco argilosa	0,012	1,5	0,008	ITE 50, LNEC
TOTAL	1,012		0,574	
Ap [m ²]			107,06	
P [m]			46,49	
B' = Ap/(0,5*P)			4,6	
Zponderado [m]			0	
Ubf (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793 - K/2013, tabela 03				0,50

B3.7. Vãos envidraçados exteriores (VEE)

Divisão	Orientação	Área Envidraçada [m ²]	Tipo de vidro	g _{L,vi}	g _{L,T}	g _T corrigido	U _{wdn} [W/m ² °C]
Sala/Kitchenete	Noroeste	3,91	Duplos	0,6	0,37	0,29	1,1
Sala/Kitchenete	Sudoeste	3,91	Duplos	0,6	0,37	0,29	1,1
Sala/Kitchenete	Sudeste	6,22	Duplos	0,6	0,37	0,19	1,1
Quarto	Noroeste	1,95	Duplos	0,6	0,37	0,29	1,1
Quarto	Sudeste	1,95	Duplos	0,6	0,37	0,14	1,1
Quarto	Nordeste	4,09	Duplos	0,6	0,37	0,23	1,1
I.S.	Noroeste	0,54	Duplos	0,6	0,37	0,26	1,1
I.S.	Nordeste	4,4	Duplos	0,6	0,37	0,22	1,1
I.S.	Sudeste	1,89	Duplos	0,6	0,09	0,08	1,1

B3.8. Palas em vãos envidraçados

Divisão	Orientação	Sombreamento Arrefecimento = Sombreamento Aquecimento?	ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO			
			Obstrução do Horizonte α_h °	Pala horizontal α °	Pala vertical à esquerda β_{esq} °	Pala vertical à direita β_{dir} °
Sala/Kitchenete	Noroeste	Sim	20	45	-	-
Sala/Kitchenete	Sudoeste	Sim	20	19,3	-	-
Sala/Kitchenete	Sudeste	Sim	20	60	-	-
Quarto	Noroeste	Sim	20	45	-	-
Quarto	Sudeste	Sim	45	60	81,6	-
Quarto	Nordeste	Sim	45	19,3	-	81,6
I.S.	Noroeste	Sim	45	-	67,5	-
I.S.	Nordeste	Sim	45	25,46	-	67,5
I.S.	Sudeste	Sim	20	-	-	-

B3.9. Ventilação

Foi usada uma ferramenta de cálculo exterior (Ferramenta de cálculo de ventilação REH-ITeCons) segundo a EN 15242 e Despacho 15793-K

B2.9.1. Enquadramento do edifício

Tipo de edifício	Existente
Concelho	Idanha-a-Nova
Altitude (m)	350
Região	A
Rugosidade	III
Área útil (m ²)	107,06
Pé direito (m)	2,71
Volume (m ³)	290,13
Texterior (°C)	9,00
Altitude ref. (m)	328,00
A _{ENV} / A _U	27,0%
Classe de permeabilidade ao ar das janelas	4

B3.9.2. Conduas de ventilação natural, conduas com exaustor/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta

Tipo de escoamento	Exaustores tipo ventax?	Perda de carga	Tipo de cobertura	Número de conduas semelhantes	Altura da conduta (m)
Exaustão	Sim	Alta	Inclinada (10° a 30°)	1	2,00

B3.9.3. Aberturas de admissão de ar da envolvente

Tipo de abertura	Área livre (cm²) / Caudal (m³/h)
Auto-regulável a 2 Pa	253,87

B3.9.4. Taxa de renovação horária

RPH estimada condições nominais [h-1]	Rph,i [h-1] - Aquecimento	Rph,v [h-1] - Arrefecimento	Req. mínimo de ventilação [h-1]	Rph,i REF [h-1]
0,50	0,50	0,60	0,40	0,50

B3.10. Inércia térmica

Elementos da envolvente exterior						
Designação	Orientação	Área [m²]	Massa Total [Kg/m²]	Msi	r	A*Msi*r
PDE_1	Noroeste	28,5	30	30	1	855,11
PDE_2	Noroeste	7,1	30	30	1	215,51
PDE_1	Nordeste	5,4	30	30	1	161,85
PDE_2	Nordeste	3,41	30	30	1	102,3
PDE_1	Sudeste	26,19	30	30	1	785,73
PDE_2	Sudeste	5,81	30	30	1	174,3
PDE_1	Sudoeste	16,90	30	30	1	507,12
TOTAL						2801,92
Cobertura exterior						
Designação	Orientação	Área [m²]	Massa Total [Kg/m²]	Msi	r	A*Msi*r
CB		107,06	30	30	1	3225
TOTAL						3225
Pavimentos térreos						
Designação	Orientação	Área [m²]	Massa Total [Kg/m²]	Msi	r	A*Msi*r
PVT		107,06	250	250	1	26765
TOTAL						26765
Elementos de compartimentação						
Designação	Orientação	Área [m²]	Massa Total [Kg/m²]	Msi	r	A*Msi*r
PDI (esp. 10 cm)		21	45	45	1	945
TOTAL						945
It			306,29			
Classe de inercia térmica			Média			

C. ANÁLISE TÉRMICA DOS PROJETOS

C1. Análise térmica do projeto A

C1.1. Caracterização da fração

Localização (município)	Idanha-a-Nova
Área útil de pavimento (m ²)	97,4
Tipologia (T?)	1
Pé direito médio (m)	3,6
Taxa nominal de renovação do ar no Inverno, Rphi	0,1
Taxa nominal de renovação do ar no Verão, Rphv	0,6
Classe de Inércia Térmica (Fraca =1; Média=2; Forte=3)	3
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,4
Radiação média incidente num envidraçado a Sul Gsul (kWh/m ²)	140
Graus dias (°C)	1274
Temp. referência estação arrefecimento θref	25
Temp. média exterior estação arrefecimento θext,v	25,3
Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, Isol,ref (kWh/m ²)	500

C1.2. Transferência de calor por transmissão

C1.2.1. Envoltente exterior

Elementos opacos exteriores	Área A [m ²]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Parede exterior_Noroeste	30,45	2,00	60,90
Parede exterior_Nordeste	27,78	2,00	55,56
Parede exterior_Sudeste	28,14	2,00	56,28
Parede exterior_Sudoeste	28,90	2,00	57,80
Cobertura inclinada	97,40	3,80	370,12
Porta exterior_Noroeste	1,95	3,60	7,02
Porta exterior_Sudeste	2,31	3,60	8,32
TOTAL			616,00

Vãos envidraçados exteriores	Área A [m ²]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Envidraçados Sala/Kitchenete_Noroeste	0,98	4,3	4,21
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudoeste	1,96	4,3	8,43
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudeste	2,93	4,3	12,60
Envidraçados Quarto_Noroeste	0,98	4,3	4,21
Envidraçados Quarto_Sudeste	0,98	4,3	4,21
Envidraçados Quarto_Nordeste	2,05	4,3	8,82
TOTAL			42,48

Pontes térmicas lineares	Comp. B [m]	ψ [W/m.°C]	ψ.B [W/ °C]
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes exteriores	73,06	0,30	21,92
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes exteriores	28,04	0,70	19,63
Fachada com cobertura em contacto paredes exteriores	31,24	0,70	21,87
Fachada com varanda	12,68	0,70	8,88
Duas paredes verticais em ângulo saliente	11,24	0,50	5,62
TOTAL			77,91

Coeficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior Hext	736,39 [W/ °C]
---	----------------

C1.2.2. Elementos em contacto com o solo

Paredes térreos - Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem isolamento térmico perimetral	Área A [m ²]	Uf [W/m ² .°C]	A.Ubf [W/ °C]
Pavimento sem isolamento térmico	97,38	0,58	56,48
TOTAL			56,48

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo Heccs	56,48 [W/ °C]
---	---------------

C1.2.3. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C1.2.1.)	736,39	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu + Hadj	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C1.2.2.)	56,48	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,i	792,87	W/ °C
VERÃO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C1.2.1.)	736,39	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C1.2.2.)	56,48	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,v	792,87	W/ °C

C1.3. Transferência de calor por ventilação

C1.3.1. Estação de aquecimento

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor hRC,i	0,00	
	x	
Caudal médio diário insuflado Vins	0,00	m ³ /h
	:	
Rph,i.Ap.Pd	35,06	
	=	
Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor bve,e	1,00	m ³ /h
	x	
	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,i	0,10	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	97,40	m ²
	x	
Pé direito médio da fracção Pd	3,6	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,i	11,92	W/°C

C1.3.1. Estação de arrefecimento

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor hRC,v	0,00	
	x	
Caudal médio diário insuflado Vins	0,00	m ³ /h
	:	
Rph,i.Ap.Pd	35,06	
	=	
Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor bve,e	1,00	m ³ /h
	x	
	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,v	0,60	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	97,40	m ²
	x	
Pé direito médio da fracção Pd	3,60	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,v	71,53	W/°C

C1.4. Ganhos térmicos na estação de aquecimento

C1.4.1. Ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores

Designação do vão envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i	Área A_w [m ²]	Fator de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i}.F_{o,i}.F_{f,i}$	Fração Envidraçada F_g	Área efetiva coletora $A_{s,i}=A_w.F_{s,i}.F_g.g_i$ [m ²]	Factor de Orientação X	Área efetiva coletora a Sul $X.A_{s,i}$ [m ²]
Env_Sala	Noroeste	0,48	0,98	0,86	0,7	0,283	0,33	0,09
Env_Sala	Sudoeste	0,48	1,96	0,74	0,7	0,487	0,84	0,41
Env_Sala	Sudeste	0,48	2,93	0,43	0,7	0,423	0,84	0,36
Env_Quarto	Noroeste	0,48	0,98	0,86	0,7	0,283	0,33	0,09
Env_Quarto	Sudeste	0,48	0,98	0,24	0,7	0,079	0,84	0,07
Env_Quarto	Nordeste	0,48	2,05	0,72	0,7	0,496	0,33	0,16
TOTAL								1,18

Área efetiva total equivalente na orientação a Sul $\Sigma(X.A_{s,i})$	1,18	m ²
	x	
Radiação média incidente num envidraçado a Sul G_{sol}	140	kWh/m ² .mês
	x	
Duração da estação de aquecimento M	5,4	meses
	=	
Ganhos solares brutos Q_{sol,i}	893,51	kWh/ano

C1.4.2. Ganhos internos

	0,72	
	x	
Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento M	5,4	meses
	x	
Área útil de pavimento A_p	97,4	m ²
	=	
Ganhos internos brutos Q_{int,i}	1514,76	kWh/ano

C1.4.3. Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ (do ponto C1.4.1.)	893,5135 kWh/ano
	+
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (do ponto C1.4.2.)	1514,765 kWh/ano
	=
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	2408,278 kWh/ano

C1.5. Ganhos térmicos na estação de arrefecimento

C1.5.1. Ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores

Designação do Envidraçado	Orientação	Área [m ²]	Tipo de vidro	Fração envidraçada F_g	Factor select. Angular $F_{w,v}$	Fração tempo Prot. Móveis ativas $F_{m,v}$	FS Global Prot. Móveis e Perman. g_T	FS Global Prot. Perman. g_{T_p}
Env_Sala	Noroeste	0,98	Simple	0,7	0,9	0,4	0,38	0,48
Env_Sala	Sudoeste	1,96	Simple	0,7	0,9	0,7	0,38	0,48
Env_Sala	Sudeste	2,93	Simple	0,7	0,9	0,7	0,38	0,48
Env_Quarto	Noroeste	0,98	Simple	0,7	0,9	0,4	0,38	0,48
Env_Quarto	Sudeste	0,98	Simple	0,7	0,9	0,7	0,38	0,48
Env_Quarto	Nordeste	2,05	Simple	0,7	0,9	0,4	0,38	0,48

(continuação)

FS Verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_T + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{T_p}$	Área Efetiva $A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ [m ²]	Fator de Obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	Intensidade da Radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ [kWh/ano]
0,44	0,302	0,78	360	84,7567
0,41	0,563	0,79	495	219,973
0,41	0,841	0,5	495	208,125
0,44	0,302	0,78	360	84,7567
0,41	0,281	0,5	495	69,6119
0,44	0,631	0,9	360	204,574
			TOTAL	871,797

C1.5.2. Ganhos solares da envolvente exterior opaca

Paredes/coberturas/vãos opacos exteriores e coberturas sob desvão	Orientação	Coef. de absorção a	Área A_{op} [m ²]	U [W/m ² .°C]
Parede exterior_Noroeste	Noroeste	0,04	30,45	2,00
Parede exterior_Nordeste	Noroeste	0,04	27,78	2,00
Parede exterior_Sudeste	Sudeste	0,04	28,14	2,00
Parede exterior_Sudoeste	Sudoeste	0,04	28,90	2,00
Cobertura inclinada	Horizontal	0,4	97,40	3,80
Porta exterior_Noroeste	Noroeste	0,5	1,95	3,60
Porta exterior_Sudeste	Sudeste	0,5	2,31	3,60

(Continuação)

R_{se} [m ² .°C/W]	Área Efetiva $A_s = a \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ [m ²]	Fator de Obstrução $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Intensidade da Radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]
0,04	0,09744	0,87	360	30,5182
	0,08890	0,92	360	29,4424
	0,09005	0,5	495	22,2869
	0,09248	0,83	495	37,9954
	5,92192	1	830	4915,19
	0,14040	0,87	360	43,9733
	0,16632	0,5	495	41,1642
	TOTAL			5120,57

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada	871,797465 kWh/ano
	+
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca	5120,57393 kWh/ano
	=
Ganhos Solares brutos $Q_{sol,v}$	5992,3714 kWh/ano

C1.5.3. Ganhos internos

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
	x	
Área interior útil de pavimento A_p	97,4	m ²
	:	
	1000	
	=	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1140,7488	kWh/ano

C1.5.4. Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ (ponto C1.5.2.)	5992,3714	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ (ponto C1.5.3.)	1140,7488	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	7133,1202	kWh/ano

C1.6. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

C1.6.1. Transferência de calor por transmissão

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef de transferência de calor por transmissão H_{tr,i} (do ponto C1.2.3.)	792,87	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr,i}	24242,848	kWh/ano

C1.6.2. Transferência de calor por renovação do ar

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar H_{ve,i} (do ponto C1.3.1.)	11,92	W/°C
	=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i}	364,51973	kWh/ano

C1.6.3. Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício (Fraca; Média ou Forte)	Forte	
Ganhos térmicos brutos Q_{g,i} (do ponto C1.4.3.)	2408,28	kWh/ano
	:	
Q_{tr,i}+Q_{ve,i} (dos pontos C1.6.1. e C1.6.2.)	24607,37	kWh/ano
	=	
parâmetro γ_i	0,10	
parâmetro ai	4,2	
Fator de utilização dos ganhos	1,00	
	x	
Ganhos térmicos brutos Q_{g,i} (do ponto C1.4.3.)	2408,2783	kWh/ano
	=	
Ganhos totais úteis Q_{gu,i}	2408,1531	

C1.6.4. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$ (do ponto C1.6.1.)	24242,85	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$ (do ponto C1.6.2.)	364,52	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$ (do ponto C1.6.3.)	2408,15	kWh/ano
	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	22199,21	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	97,4	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	227,92	kWh/m².ano

C1.7. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

C1.7.1. Transferência de calor

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,v}$ (do ponto C1.2.3.)	792,87	W/°C
	+	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,v}$ (do ponto C1.3.1)	71,53	W/°C
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação $H_{t,v}$	864,40	W/°C

C1.7.2. Transferência de calor por transmissão

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} (do ponto C1.2.3.)	792,87	W/°C
	x	
$\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}$	-0,3	°C
	x	
Duração da estação de Arrefecimento L_v	2928,00	horas
	:	
	1000	kWh/ano
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento $Q_{tr,v}$	-696,46	kWh/ano

C1.7.3. Transferência de calor por renovação do ar

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ (do ponto C1.3.1.)	71,53	W/°C
	x	
$\theta_{v,ref}-\theta_{v,ext}$	-0,3	°C
	x	
Duração da estação de Arrefecimento L_v	2928,00	horas
	:	
	1000	
	=	
Transf. de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento $Q_{ve,v}$	-62,83	kWh/ano

C1.7.4. Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício	Forte	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ (do ponto C1.5.4.)	7133,12	kWh/ano
	:	
Transf. de calor por transmissão e por renovação $Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$ (do ponto C1.7.2. e do ponto C1.7.3.)	-759,29	kWh/ano
	=	
parâmetro γ_v	-9,39	
parâmetro a_v	4,2	
Fator de utilização dos ganhos η_v	-0,11	

C1.7.5. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$1-\eta_v$	1,11	
	x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ (do ponto C1.5.4.)	7133,1202	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	97,4	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc}	81,03	kWh/m ² .ano

C1.8. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

C1.8.1. Necessidades nominais de energia primária para aquecimento

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic [kWh/m ² .ano]	fi	Eficiência Nominal ηi	Fator de Conversão Fpui [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fi. δi.Nic.Fpui/ ηi [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	227,92	1	1	2,5	569,80
TOTAL			1		TOTAL	569,80

C1.8.2. Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic kWh/m ² .ano	fv.δ	Eficiência Nominal ηv	Fator de Conversão Fpuv kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia primária fa. δv.Nvc.Fpuv/ ηv kWh _{EP} /m ² .ano
sistema por defeito	eletricidade	81,03	1	0,86	2,5	235,55
TOTAL			1		TOTAL	235,55

C1.8.3. Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS

	40
	X
Número convencional de ocupantes da fração, n	2
	X
Fator de eficiência hídrica f_{ef}	1
	=
Consumo médio diário de referência, M_{AQS}	80

M_{AQS}	80	l
	X	
	4187	
	x	
Aumento de temp., Δt	35	
	X	
Dias de consumo	365	dias
	:	
	3600000	
	:	
A_p	97,4	m ²
	=	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, Qa/Ap		12,20 kWh/m ² .ano

Sistema para AQS	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Qa/Ap [kWh/m ² .ano]	fa	Eficiência Nominal η_a	Fator de Conversão F_{pua} [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fa · δ · Qa · F_{pua} / η_a [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	12,20	1,00	0,50	2,50	61,02
TOTAL		1			TOTAL	61,02

C1.8.4. Necessidades nominais globais de energia primária

Energia primária para aquecimento (do ponto C1.8.1)	569,80	kW _{HEP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento (do ponto C1.8.2.)	235,55	kW _{HEP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para preparação de AQS (do ponto C1.8.3.)	61,02	kW _{HEP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para ventilação mecânica	0	kW _{HEP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0	kW _{HEP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária Ntc	866,37	kW_{HEP}/m².ano

C2. Análise térmica do projeto B

C2.1. Caracterização da fração

Localização (município)	Idanha-a-Nova
Área útil de pavimento (m ²)	107,06
Tipologia (T?)	1
Pé direito médio (m)	2,71
Taxa nominal de renovação do ar no Inverno, Rphi	0,3
Taxa nominal de renovação do ar no Verão, Rphv	0,6
Classe de Inércia Térmica (Fraca =1; Média=2; Forte=3)	2
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,4
Radiação média incidente num envidraçado a Sul G_{sul} (kWh/m ²)	140
Graus dias (°C)	1274
Temp. referência estação arrefecimento θ_{ref}	25
Temp. média exterior estação arrefecimento θ_{ext,v}	25,3
Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, I_{sol,ref} (kWh/m ²)	500

C2.2. Transferência de calor por transmissão

C2.2.1. Envolvente exterior

Elementos opacos exteriores	Área A [m ²]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Parede exterior 1_Noroeste	28,50	0,13	3,71
Parede exterior 2_Noroeste	7,18	0,55	3,95
Parede exterior 1_Nordeste	5,40	0,13	0,70
Parede exterior 2_Nordeste	3,41	0,55	1,88
Parede exterior 1_Sudeste	26,19	0,13	3,40
Parede exterior 2_Sudeste	5,81	0,55	3,20
Parede exterior 1_Sudoeste	16,90	0,13	2,20
Cobertura inclinada	107,50	0,23	27,73
TOTAL			43,75

Vãos envidraçados exteriores	Área A [m ²]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Envidraçados Sala/Kitchenete_Noroeste	3,91	1,1	4,30
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudoeste	3,91	1,1	4,30
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudeste	6,22	1,1	6,84
Envidraçados Quarto_Noroeste	1,95	1,1	2,15
Envidraçados Quarto_Sudeste	1,95	1,1	2,15
Envidraçados Quarto_Nordeste	4,09	1,1	4,50
Envidraçados Instalação Sanitária_Noroeste	0,54	1,1	0,59
Envidraçados Instalação Sanitária_Nordeste	4,4	1,1	4,84
Envidraçados Instalação Sanitária_Sudeste	1,89	1,1	2,08
TOTAL			31,75

Pontes térmicas lineares	Comp. B [m]	ψ [W/m.°C]	ψ.B [W/ °C]
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 1	67,00	0,25	16,75
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 2	17,20	0,25	4,30
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 1	23,86	0,80	19,09
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 2	9,25	0,70	6,48
Fachada com cobertura em contacto paredes 1	40,72	1,00	40,72
Fachada com cobertura em contacto paredes 2	10,97	0,80	8,78
Fachada com varanda	12,68	0,60	7,61
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 1	10,84	0,10	1,08
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 2	5,42	0,40	2,17
TOTAL			106,97

Coeficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior Hext	182,47 [W/ °C]
---	----------------

C2.2.2. Elementos em contacto com o solo

Paredes térreos - Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem isolamento térmico perimetral	Área A [m ²]	Uf [W/m ² .°C]	A.Ubf [W/ °C]
Pavimento sem isolamento térmico	107,06	0,5	53,53
TOTAL			53,53

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo Hecs	53,53 [W/ °C]
--	---------------

C2.2.3. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C2.2.1.)	182,47	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu + Hadj	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C2.2.2.)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,i	236,00	W/ °C
VERÃO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C2.2.1.)	182,47	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C2.2.2.)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,v	236,00	W/ °C

C2.3. Transferência de calor por ventilação

C2.3.1. Estação de aquecimento

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor hRC,i	0,00	
	x	
Caudal médio diário insuflado Vins	0,00	m ³ /h
	:	
Rph,i.Ap.Pd	87,04	
	=	
Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor bve,e	1,00	m ³ /h
	x	
	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,i	0,30	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	x	
Pé direito médio da fracção Pd	2,71	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,i	29,59	W/°C

C2.3.1. Estação de arrefecimento

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor hRC,v	0,00	
	x	
Caudal médio diário insuflado Vins	0,00	m ³ /h
	:	
Rph,i.Ap.Pd	87,04	
	=	
Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor bve,e	1,00	m ³ /h
	x	
	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,v	0,60	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	x	
Pé direito médio da fracção Pd	2,71	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,v	59,19	W/°C

C2.4. Ganhos térmicos na estação de aquecimento

C2.4.1. Ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores

Designação do vão envidraçado	Orientação	Fator Solar Inverno gi	Área Aw [m ²]	Fator de Obstrução Fs,i=Fh,i.Fo,i.Ff,i	Fração Envidraçada Fg	Área efetiva coletora As,i=Aw.Fs,i.Fg.gi [m ²]	Fator de Orientação X	Área efetiva coletora a Sul X.As,i [m ²]
Env_Sala	Noroeste	0,39	3,91	0,86	0,7	0,918	0,33	0,30
Env_Sala	Sudoeste	0,39	3,91	0,74	0,7	0,790	0,84	0,66
Env_Sala	Sudeste	0,39	6,22	0,43	0,7	0,730	0,84	0,61
Env_Quarto	Noroeste	0,39	1,95	0,86	0,7	0,458	0,33	0,15
Env_Quarto	Sudeste	0,39	1,95	0,21	0,7	0,112	0,84	0,09
Env_Quarto	Nordeste	0,39	4,09	0,62	0,7	0,692	0,33	0,23
Env_I.S.	Noroeste	0,39	0,54	0,64	0,7	0,094	0,33	0,03
Env_I.S.	Nordeste	0,39	4,4	0,61	0,7	0,733	0,33	0,24
Env_I.S.	Sudeste	0,39	1,89	0,79	0,7	0,408	0,84	0,34
TOTAL								2,67

Área efetiva total equivalente na orientação a Sul $\Sigma(X.As,i)$	2,67	m ²
	x	
Radiação média incidente num envidraçado a Sul Gsul	140	kWh/m ² .mês
	x	
Duração da estação de aquecimento M	5,4	meses
	=	
Ganhos solares brutos Qsol,i	2017,43	kWh/ano

C2.4.2. Ganhos internos

	0,72	
	x	
Ganhos internos médios qint	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento M	5,4	meses
	x	
Área útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	=	
Ganhos internos brutos Qint,i	1665,0	kWh/ano

C2.4.3. Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ (do ponto C2.4.1.)	2017,433 kWh/ano
	+
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (do ponto C2.4.2.)	1664,997 kWh/ano
	=
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	3682,43 kWh/ano

C2.5. Ganhos térmicos na estação de arrefecimento

C2.5.1. Ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores

Designação do Envidraçado	Orientação	Área m^2	Tipo de vidro	Fração envidraçada F_g	Factor select. Angular $F_{w,v}$	Fração tempo Prot. Móveis ativos $F_{m,v}$
Env_Sala	Noroeste	3,91	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Sala	Sudoeste	3,91	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Sala	Sudeste	6,22	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Quarto	Noroeste	1,95	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Quarto	Sudeste	1,95	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Quarto	Nordeste	4,09	Duplo	0,7	0,85	0
Env_I.S.	Noroeste	0,54	Duplo	0,7	0,85	0
Env_I.S.	Nordeste	4,4	Duplo	0,7	0,85	0
Env_I.S.	Sudeste	1,89	Duplo	0,7	0,85	0

(Continuação)

FS Global Prot. Móveis e Perman. g_T	FS Global Prot. Perman. g_{T_p}	FS Verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_T + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{T_p}$	Área Efetiva $A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ [m^2]	Fator de Obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	Intensidade da Radiação I_{sol} [$kWh/m^2 \cdot ano$]	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ [kWh/ano]
0,6	0,39	0,39	1,067	0,78	360	299,734
0,6	0,39	0,39	1,067	0,79	495	417,419
0,6	0,39	0,39	1,698	0,5	495	420,27
0,6	0,39	0,39	0,532	0,78	360	149,484
0,6	0,39	0,39	0,532	0,39	495	102,77
0,6	0,39	0,39	1,117	0,63	360	253,238
0,6	0,39	0,39	0,147	0,69	360	36,6191
0,6	0,39	0,39	1,201	0,61	360	263,784
0,6	0,39	0,39	0,516	0,9	495	229,865
TOTAL						2173,18

C2.5.2. Ganhos solares da envolvente exterior opaca

Paredes/coberturas/vãos opacos exteriores e coberturas sob desvão	Orientação	Coef. de absorção a	Área A_{op} [m ²]	U [W/m ² .°C]
Parede exterior 1_Noroeste	Noroeste	0,04	28,50	0,13
Parede exterior 2_Noroeste	Noroeste	0,04	7,18	0,55
Parede exterior 1_Nordeste	Nordeste	0,04	5,40	0,13
Parede exterior 2_Nordeste	Nordeste	0,04	3,41	0,55
Parede exterior 1_Sudeste	Sudeste	0,04	26,19	0,13
Parede exterior 2_Sudeste	Sudeste	0,04	5,81	0,55
Parede exterior 1_Sudoeste	Sudoeste	0,04	16,90	0,13
Cobertura	Horizontal	0,4	107,50	0,23

(Continuação)

R_{se} m ² .°C/W	Área Efetiva $A_s = a \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ m ²	Fator de Obstrução $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Intensidade da Radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]
	0,00593	0,87	360	1,85665
	0,00632	0,84	360	1,91068
	0,00112	0,86	360	0,34774
0,04	0,00300	0,88	360	0,95065
	0,00545	0,5	495	1,34826
	0,00511	0,96	495	2,4296
	0,00352	0,83	495	1,44422
	0,39560	1	830	328,348
			TOTAL	338,636

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada	2173,18	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca	338,636	kWh/ano
	=	
Ganhos Solares brutos $Q_{sol,v}$	2511,82	kWh/ano

C2.5.3. Ganhos internos

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
	x	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	:	
	1000	
	=	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1253,89	kWh/ano

C2.5.4. Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ (ponto C2.5.2.)	2511,82	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ (ponto C2.5.3.)	1253,89	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3765,7	kWh/ano

C2.6. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

C2.6.1. Transferência de calor por transmissão

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef de transferência de calor por transmissão H_{tr,i} (do ponto C2.2.3.)	236	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr,i}	7215,9	kWh/ano

C2.6.2. Transferência de calor por renovação do ar

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar H_{ve,i} (do ponto C2.3.1.)	29,59	W/°C
	=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i}	904,86	kWh/ano

C2.6.3. Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício (Fraca; Média ou Forte)	Média	
Ganhos térmicos brutos Q_{g,i} (do ponto C2.4.3.)	3682,43	kWh/ano
	:	
Q_{tr,i}+Q_{ve,i} (dos pontos C2.6.1. e C2.6.2.)	8120,75	kWh/ano
	=	
parâmetro γ_i	0,45	
parâmetro ai	2,6	
Fator de utilização dos ganhos	0,93	
	x	
Ganhos térmicos brutos Q_{g,i} (do ponto C2.4.3.)	3682,43	kWh/ano
	=	
Ganhos totais úteis Q_{gu,i}	3409,08	

C2.6.4. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$ (do ponto C2.6.1.)	7215,9	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$ (do ponto C2.6.2.)	904,85	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$ (do ponto C2.6.3.)	3409,08	kWh/ano
	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	4711,66	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	44,01	kWh/m ² .ano

C2.7. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

C2.7.1. Transferência de calor

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,v}$ (do ponto C2.2.3.)	236	W/°C
	+	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,v}$ (do ponto C2.3.1)	59,19	W/°C
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação $H_{t,v}$	295,19	W/°C

C2.7.2. Transferência de calor por transmissão

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} (do ponto C2.2.3.)	236	W/°C
	x	
$\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}$	-0,3	°C
	x	
Duração da estação de Arrefecimento L_v	2928,00	horas
	:	
	1000	kWh/ano
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento $Q_{tr,v}$	-207,3	kWh/ano

C2.7.3. Transferência de calor por renovação do ar

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ (do ponto C2.3.1.)	59,19	W/°C
	x	
$\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}$	-0,3	°C
	x	
Duração da estação de Arrefecimento L_v	2928,00	horas
	:	
	1000	
	=	
Transf. de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento $Q_{ve,v}$	-51,99	kWh/ano

C2.7.4. Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício	Média
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ (do ponto C2.5.4.)	3765,70 kWh/ano
	:
Transf. de calor por transmissão e por renovação $Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$ (do ponto C2.7.2. e do ponto C2.7.3.)	-259,29 kWh/ano
	=
parâmetro γ_v	-14,52
parâmetro a_v	2,6
Fator de utilização dos ganhos η_v	-0,07

C2.7.5. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

1- η_v	1,07
	x
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ (do ponto C2.5.4.)	3765,7 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
	=
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc}	37,6 kWh/m ² .ano

C2.8. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

C2.8.1. Necessidades nominais de energia primária para aquecimento

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic [kWh/m ² .ano]	fi	Eficiência Nominal ηi	Fator de Conversão Fpui [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fi. δi.Nic.Fpui/ ηi [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	44,01	1	1	2,5	110,02
TOTAL			1		TOTAL	110,02

C2.8.2. Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic kWh/m ² .ano	fv.δ	Eficiência Nominal ηv	Fator de Conversão Fpuv kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia primária fa. δv.Nvc.Fpuv/ ηv kWh _{EP} /m ² .ano
sistema por defeito	eletricidade	37,6	1	3	2,5	31,33
TOTAL			1		TOTAL	31,33

C2.8.3. Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS

	40
	X
Número convencional de ocupantes da fração, n	2
	X
Fator de eficiência hídrica f_{ef}	1
	=
Consumo médio diário de referência, M_{AQS}	80

M_{AQS}	80	l
	X	
	4187	
	x	
Aumento de temp., Δt	35	
	X	
Dias de consumo	365	dias
	:	
	3600000	
	:	
A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, Qa/Ap		11,10 kWh/m ² .ano

Sistema para AQS	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Qa/Ap [kWh/m ² .ano]	fa	Eficiência Nominal η_a	Fator de Conversão F_{pua} [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fa. δ.Qa.F_{pua}/ η_a [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	11,10	1,00	0,86	2,50	32,27
TOTAL		1			TOTAL	32,27

C2.8.4. Necessidades nominais globais de energia primária

Energia primária para aquecimento (do ponto C2.8.1)	110,02	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento (do ponto C2.8.2.)	31,33	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para preparação de AQS (do ponto C2.8.3.)	32,27	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para ventilação mecânica	0	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc}	173,63	kWh_{EP}/m².ano

C3. Análise térmica do projeto C

C3.1. Caracterização da fração

Localização (município)	Idanha-a-Nova
Área útil de pavimento (m ²)	107,06
Tipologia (T?)	1
Pé direito médio (m)	2,71
Taxa nominal de renovação do ar no Inverno, Rphi	0,5
Taxa nominal de renovação do ar no Verão, Rphv	0,6
Classe de Inércia Térmica (Fraca =1; Média=2; Forte=3)	2
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,4
Radiação média incidente num envidraçado a Sul Gsul (kWh/m ²)	140
Graus dias (°C)	1274
Temp. referência estação arrefecimento θref	25
Temp. média exterior estação arrefecimento θ_{ext,v}	25,3
Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, Isol,ref (kWh/m ²)	500

C3.2. Transferência de calor por transmissão

C3.2.1. Envolvente exterior

Elementos opacos exteriores	Área A [m ²]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Parede exterior 1_Noroeste	28,50	0,13	3,71
Parede exterior 2_Noroeste	7,18	0,37	2,66
Parede exterior 1_Nordeste	5,40	0,13	0,70
Parede exterior 2_Nordeste	3,41	0,37	1,26
Parede exterior 1_Sudeste	26,19	0,13	3,40
Parede exterior 2_Sudeste	5,81	0,37	2,15
Parede exterior 1_Sudoeste	16,90	0,13	2,20
Cobertura inclinada	107,40	0,23	24,70
TOTAL			40,78

Vãos envidraçados exteriores	Área A [m ²]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Envidraçados Sala/Kitchenete_Noroeste	3,91	1,1	4,30
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudoeste	3,91	1,1	4,30
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudeste	6,22	1,1	6,84
Envidraçados Quarto_Noroeste	1,95	1,1	2,15
Envidraçados Quarto_Sudeste	1,95	1,1	2,15
Envidraçados Quarto_Nordeste	4,09	1,1	4,50
Envidraçados Instalação Sanitária_Noroeste	0,54	1,1	0,59
Envidraçados Instalação Sanitária_Nordeste	4,4	1,1	4,84
Envidraçados Instalação Sanitária_Sudeste	1,89	1,1	2,08
TOTAL			31,75

Pontes térmicas lineares	Comp. B [m]	ψ [W/m.°C]	ψ.B [W/ °C]
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 1	67,00	0,25	16,75
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 2	17,20	0,10	1,72
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 1	23,86	0,80	19,09
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 2	9,25	0,70	6,48
Fachada com cobertura em contacto paredes 1	40,72	1,00	40,72
Fachada com cobertura em contacto paredes 2	10,97	0,80	8,78
Fachada com varanda	12,68	0,60	7,61
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 1	10,84	0,10	1,08
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 2	5,42	0,40	2,17
TOTAL			104,39

Coeficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior Hext	176,91 [W/ °C]
---	----------------

C3.2.2. Elementos em contacto com o solo

Paredes térreos - Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem isolamento térmico perimetral	Área A [m ²]	Uf [W/m ² .°C]	A.Ubf [W/ °C]
Pavimento sem isolamento térmico	107,06	0,5	53,53
TOTAL			53,53

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo Hecs	53,53 [W/ °C]
--	---------------

C3.2.3. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C3.2.1.)	176,91	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu + Hadj	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C3.2.2.)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,i	230,44	W/ °C
VERÃO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext (Ponto C3.2.1.)	176,91	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs (Ponto C3.2.2.)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr,v	230,44	W/ °C

C3.3. Transferência de calor por ventilação

C3.3.1. Estação de aquecimento

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor hRC,i	0,00	
	x	
Caudal médio diário insuflado Vins	0,00	m ³ /h
	:	
Rph,i.Ap.Pd	145,07	
	=	
Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor bve,e	1,00	m ³ /h
	x	
	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,i	0,50	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	x	
Pé direito médio da fracção Pd	2,71	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,i	49,32	W/°C

C3.3.1. Estação de arrefecimento

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor hRC,v	0,00	
	x	
Caudal médio diário insuflado Vins	0,00	m ³ /h
	:	
Rph,i.Ap.Pd	145,07	
	=	
Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor bve,e	1,00	m ³ /h
	x	
	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,v	0,60	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	x	
Pé direito médio da fracção Pd	2,71	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,v	59,19	W/°C

C3.4. Ganhos térmicos na estação de aquecimento

C3.4.1. Ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores

Designação do vão envidraçado	Orientação	Fator Solar Inverno gi	Área Aw [m ²]	Fator de Obstrução Fs,i=Fh,i.Fo,i.Ff,i	Fração Envidraçada Fg	Área efetiva coletora As,i=Aw.Fs,i.Fg.gi [m ²]	Fator de Orientação X	Área efetiva coletora a Sul X.As,i [m ²]
Env_Sala	Noroeste	0,39	3,91	0,86	0,7	0,918	0,33	0,30
Env_Sala	Sudoeste	0,39	3,91	0,74	0,7	0,790	0,84	0,66
Env_Sala	Sudeste	0,39	6,22	0,43	0,7	0,730	0,84	0,61
Env_Quarto	Noroeste	0,39	1,95	0,86	0,7	0,458	0,33	0,15
Env_Quarto	Sudeste	0,39	1,95	0,21	0,7	0,112	0,84	0,09
Env_Quarto	Nordeste	0,39	4,09	0,62	0,7	0,692	0,33	0,23
Env_I.S.	Noroeste	0,39	0,54	0,64	0,7	0,094	0,33	0,03
Env_I.S.	Nordeste	0,39	4,4	0,61	0,7	0,733	0,33	0,24
Env_I.S.	Sudeste	0,39	1,89	0,79	0,7	0,408	0,84	0,34
TOTAL								2,67

Área efetiva total equivalente na orientação a Sul $\Sigma(X.As,i)$	2,67	m ²
	x	
Radiação média incidente num envidraçado a Sul Gsul	140	kWh/m ² .mês
	x	
Duração da estação de aquecimento M	5,4	meses
	=	
Ganhos solares brutos Qsol,i	2017,43	kWh/ano

C3.4.2. Ganhos internos

	0,72	
	x	
Ganhos internos médios qint	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento M	5,4	meses
	x	
Área útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	=	
Ganhos internos brutos Qint,i	1665,0	kWh/ano

C3.4.3. Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ (do ponto C3.4.1.)	2017,433 kWh/ano
	+
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (do ponto C3.4.2.)	1664,997 kWh/ano
	=
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	3682,43 kWh/ano

C3.5. Ganhos térmicos na estação de arrefecimento

C3.5.1. Ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores

Designação do Envidraçado	Orientação	Área m ²	Tipo de vidro	Fração envidraçada F_g	Factor select. Angular $F_{w,v}$	Fração tempo Prot. Móveis ativas $F_{m,v}$
Env_Sala	Noroeste	3,91	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Sala	Sudoeste	3,91	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Sala	Sudeste	6,22	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Quarto	Noroeste	1,95	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Quarto	Sudeste	1,95	Duplo	0,7	0,85	0
Env_Quarto	Nordeste	4,09	Duplo	0,7	0,85	0
Env_I.S.	Noroeste	0,54	Duplo	0,7	0,85	0
Env_I.S.	Nordeste	4,4	Duplo	0,7	0,85	0
Env_I.S.	Sudeste	1,89	Duplo	0,7	0,85	0

(Continuação)

FS Global Prot. Móveis e Perman. g_T	FS Global Prot. Perman. g_{T_p}	FS Verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_T + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{T_p}$	Área Efetiva $A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ [m ²]	Fator de Obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	Intensidade da Radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ [kWh/ano]
0,6	0,39	0,39	1,067	0,78	360	299,734
0,6	0,39	0,39	1,067	0,79	495	417,419
0,6	0,39	0,39	1,698	0,5	495	420,27
0,6	0,39	0,39	0,532	0,78	360	149,484
0,6	0,39	0,39	0,532	0,39	495	102,77
0,6	0,39	0,39	1,117	0,63	360	253,238
0,6	0,39	0,39	0,147	0,69	360	36,6191
0,6	0,39	0,39	1,201	0,61	360	263,784
0,6	0,39	0,39	0,516	0,9	495	229,865
				TOTAL		2173,18

C3.5.2. Ganhos solares da envolvente exterior opaca

Paredes/coberturas/vãos opacos exteriores e coberturas sob desvão	Orientação	Coef. de absorção a	Área A_{op} [m ²]	U [W/m ² .°C]
Parede exterior 1_Noroeste	Noroeste	0,04	28,50	0,13
Parede exterior 2_Noroeste	Noroeste	0,04	7,18	0,37
Parede exterior 1_Nordeste	Nordeste	0,04	5,40	0,13
Parede exterior 2_Nordeste	Nordeste	0,04	3,41	0,37
Parede exterior 1_Sudeste	Sudeste	0,04	26,19	0,13
Parede exterior 2_Sudeste	Sudeste	0,04	5,81	0,37
Parede exterior 1_Sudoeste	Sudoeste	0,04	16,90	0,13
Cobertura	Horizontal	0,4	107,40	0,23

(Continuação)

R_{se} m ² .°C/W	Área Efetiva $A_s = a \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ m ²	Fator de Obstrução $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Intensidade da Radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]
0,04	0,00593	0,87	360	1,85665
	0,00425	0,84	360	1,28537
	0,00112	0,86	360	0,34774
	0,00202	0,88	360	0,63953
	0,00545	0,5	495	1,34826
	0,00344	0,96	495	1,63446
	0,00352	0,83	495	1,44422
	0,39523	1	830	328,043
TOTAL				336,599

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada	2173,18	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca	336,599	kWh/ano
	=	
Ganhos Solares brutos $Q_{sol,v}$	2509,78	kWh/ano

C3.5.3. Ganhos internos

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
	x	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	:	
	1000	
	=	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1253,89	kWh/ano

C3.5.4. Ganhos térmicos brutos

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ (ponto C3.5.2.)	2509,78	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ (ponto C3.5.3.)	1253,89	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3763,67	kWh/ano

C3.6. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

C3.6.1. Transferência de calor por transmissão

	<hr/>	0,024	
		x	
Número de graus-dias aquecimento GD		1274	°C.dias
		x	
Coef de transferência de calor por transmissão H_{tr,i} (do ponto C3.2.3.)		230,44	W/°C
		=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr,i}		7046,05	kWh/ano

C3.6.2. Transferência de calor por renovação do ar

	<hr/>	0,024	
		x	
Número de graus-dias aquecimento GD		1274	°C.dias
		x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar H_{ve,i} (do ponto C3.3.1.)		49,32	W/°C
		=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{ve,i}		1508,09	kWh/ano

C3.6.3. Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício (Fraca; Média ou Forte)		Média	
Ganhos térmicos brutos Q_{g,i} (do ponto C3.4.3.)		3682,43	kWh/ano
		:	
Q_{tr,i}+Q_{ve,i} (dos pontos C3.6.1. e C3.6.2.)		8554,13	kWh/ano
		=	
parâmetro γ_i		0,43	
parâmetro ai		2,6	
Fator de utilização dos ganhos		0,93	
		x	
Ganhos térmicos brutos Q_{g,i} (do ponto C3.4.3.)		3682,43	kWh/ano
		=	
Ganhos totais úteis Q_{gu,i}		3436,2	

C3.6.4. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$ (do ponto C3.6.1.)	7046,05	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$ (do ponto C3.6.2.)	1508,09	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$ (do ponto C3.6.3.)	3436,2	kWh/ano
	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	5117,93	kWh/ano
	:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	47,8	kWh/m².ano

C3.7. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

C3.7.1. Transferência de calor

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,v}$ (do ponto C3.2.3.)	230,44	W/°C
	+	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,v}$ (do ponto C3.3.1)	59,19	W/°C
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação $H_{t,v}$	289,63	W/°C

C3.7.2. Transferência de calor por transmissão

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} (do ponto C3.2.3.)	230,44	W/°C
	x	
$\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}$	-0,3	°C
	x	
Duração da estação de Arrefecimento L_v	2928,00	horas
	:	
	1000	kWh/ano
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento $Q_{tr,v}$	-202,42	kWh/ano

C3.7.3. Transferência de calor por renovação do ar

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ (do ponto C3.3.1.)	59,19	W/°C
	x	
$\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}$	-0,3	°C
	x	
Duração da estação de Arrefecimento L_v	2928,00	horas
	:	
	1000	
	=	
Transf. de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento $Q_{ve,v}$	-51,99	kWh/ano

C3.7.4. Fator de utilização de ganhos

Inércia do edifício	Média
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ (do ponto C3.5.4.)	3763,67 kWh/ano
	:
Transf. de calor por transmissão e por renovação $Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$ (do ponto C3.7.2. e do ponto C3.7.3.)	-254,41 kWh/ano
	=
parâmetro γ_v	-14,79
parâmetro a_v	2,6
Fator de utilização dos ganhos η_v	-0,07

C3.7.5. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

1- η_v	1,07
	x
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ (do ponto C3.5.4.)	3763,68 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
	=
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc}	37,53 kWh/m ² .ano

C3.8. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

C3.8.1. Necessidades nominais de energia primária para aquecimento

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic [kWh/m ² .ano]	fi	Eficiência Nominal ηi	Fator de Conversão Fpui [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fi. δi.Nic.Fpui/ ηi [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	47,80	1	1	2,5	119,51
TOTAL			1		TOTAL	119,51

C3.8.2. Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic kWh/m ² .ano	fv.δ	Eficiência Nominal ηv	Fator de Conversão Fpuv kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia primária fa. δv.Nvc.Fpuv/ ηv kWh _{EP} /m ² .ano
sistema por defeito	eletricidade	37,53	1	3	2,5	31,28
TOTAL			1		TOTAL	31,28

C3.8.3. Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS

	40
	X
Número convencional de ocupantes da fração, n	2
	X
Fator de eficiência hídrica f_{ef}	1
	=
Consumo médio diário de referência, M_{AQS}	80

M_{AQS}	80	l
	X	
	4187	
	x	
Aumento de temp., Δt	35	
	X	
Dias de consumo	365	dias
	:	
	3600000	
	:	
Ap	107,06	m ²
	=	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, Qa/Ap		11,10 kWh/m ² .ano

Sistema para AQS	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Qa/Ap [kWh/m ² .ano]	fa	Eficiência Nominal η_a	Fator de Conversão Fpua [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fa. δ.Qa.Fpua/ η_a [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	11,10	1,00	0,95	2,50	29,22
TOTAL		1			TOTAL	29,22

C3.8.4. Necessidades nominais globais de energia primária

Energia primária para aquecimento (do ponto C3.8.1)	119,51	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento (do ponto C3.8.2.)	31,28	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para preparação de AQS (do ponto C3.8.3.)	29,22	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para ventilação mecânica	0	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária Ntc	180	kWh_{EP}/m².ano

C4. Valores de referência do projeto A

C4.1. Transferência de calor por transmissão de referência

C4.1.1. Envoltente exterior

Elementos opacos exteriores	Área A [m ²]	U ref [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Parede exterior_Noroeste	30,45	0,40	12,18
Parede exterior_Nordeste	27,78	0,40	11,11
Parede exterior_Sudeste	28,14	0,40	11,256
Parede exterior_Sudoeste	28,90	0,40	11,56
Cobertura inclinada	97,40	0,35	34,09
Porta exterior_Noroeste	1,95	0,40	0,78
Porta exterior_Sudeste	2,31	0,40	0,924
TOTAL			81,902

Vãos envidraçados exteriores	Área A [m ²]	U ref [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Envidraçados Sala/Kitchenete_Noroeste	0,98	2,4	2,352
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudoeste	1,96	2,4	4,704
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudeste	2,93	2,4	7,032
Envidraçados Quarto_Noroeste	0,98	2,4	2,352
Envidraçados Quarto_Sudeste	0,98	2,4	2,352
Envidraçados Quarto_Nordeste	2,05	2,4	4,92
TOTAL			23,712

Pontes térmicas lineares	Comp. B [m]	Ψ ref [W/m.°C]	ψ.B [W/ °C]
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes exteriores	73,06	0,2	14,612
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes exteriores	28,04	0,5	14,02
Fachada com cobertura em contacto paredes exteriores	31,24	0,5	15,62
Fachada com varanda	12,68	0,5	6,34
Duas paredes verticais em ângulo saliente	11,24	0,4	4,496
TOTAL			55,088

Coeficiente de transferência de calor por condução pela envoltente exterior Hext ref	160,702 [W/ °C]
---	-----------------

C4.1.2. Elementos em contacto com o solo

Paredes térreas - Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade $z \leq 0$) com ou sem isolamento térmico perimetral	Área A [m ²]	Uf ref [W/m ² .°C]	A.Ubf [W/ °C]
Pavimento sem isolamento térmico	97,38	0,5	48,69
	TOTAL		48,69

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo Hecs ref	48,69 [W/ °C]
--	---------------

C4.1.3. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext ref. (Ponto C4.1.1.)	160,7	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu ref. + Hadj ref.	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs ref. (Ponto C4.1.2.)	48,69	W/ °C
	=		
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr ref.	209,39	W/ °C

C4.2. Transferência de calor por ventilação de referência

C4.2.1. Estação de aquecimento

	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,i REF	0,40	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	97,40	m ²
	x	
Pé direito médio da fração Pd	3,6	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,i REF	47,69	W/ °C

C4.3. Ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência

C4.3.1. Ganhos térmicos brutos de referência

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ ($G_{sul} \times 0,146 \times 0,15 \times M$)	16,5564	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (ponto C1.4.2.)	1514,765	kWh/ano
	=	
Ganhos térmico brutos $Q_{g, i REF}$	1531,321	kWh/ano

C4.4. Ganhos térmicos estação de arrefecimento de referência

C4.4.1. Ganhos térmicos brutos de referência

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
	:	
	1000	
	+	
Fator solar de verão de referência $g_{v REF}$	0,43	
	x	
$A_w/A_p REF$	0,2	20%
	x	
Radiação solar média de referência $I_{sol REF}$	500	kWh/m ² .ano
	=	
	54,71	kWh/m ² .ano
	x	
Área interior útil de pavimento A_p	97,4	m ²
	=	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$	5328,949	kWh/ano

C4.5. Limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento

C4.5.1. Coeficiente de transferência de calor de referência

Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ (Ponto C4.1.3.)	209,39	W/°C
	+	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$ (Ponto C4.2.1.)	47,69	W/°C
	=	
Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$	257,08	W/°C

C4.5.2. Transferência de calor por transmissão de referência

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ (ponto C4.1.3.)	209,39	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i REF}$	6402,37	kWh/ano

C4.5.3. Transferência de calor por renovação do ar de referência

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$ (ponto C4.2.1.)	47,69	W/°C
	=	
Transf. de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$	1458,08	kWh/ano

C4.5.4. Fator de utilização de ganhos de referência

Factor de utilização dos ganhos h_{iREF}	1	
	x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g, REF}$ (ponto C4.4.1.)	1531,32	kWh/ano
	=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i REF}$	1531,32	

C4.5.5. Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i REF}$ (ponto C4.5.2.)	6402,37 kWh/ano
	+
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$ (ponto C4.5.3.)	1458,08 kWh/ano
	-
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i REF}$ (ponto C4.5.4.)	1531,32 kWh/ano
	=
Necessidades anuais na estação de aquecimento	6329,13 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	97,4 m ²
	=
Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_i	64,98 kWh/m².ano

C4.6. Limite máximo das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

C4.6.1. Coeficiente de utilização de ganhos de referência

Fator de utilização dos ganhos $\eta_{REF v}$	0,30
---	------

C4.6.2. Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$1 - \eta_{REF v}$	0,70
	x
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$ (ponto C4.4.1.)	5328,949 kWh/ano
	:
Área interior útil de pavimento A_p	97,4 m ²
	=
Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento N_v	38,30 kWh/m².ano

C4.7. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

C4.7.1. Necessidades nominais de energia primária para aquecimento de referência

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic [kWh/m ² .ano]	fi	Eficiência Nominal ηi	Fator de Conversão Fpui [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fi. δi.Nic.Fpui/ ηi [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	64,98	1	1	2,5	162,45
TOTAL			1		TOTAL	162,45

C4.7.2. Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento de referência

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic kWh/m ² .ano	fv.δ	Eficiência Nominal ηv	Fator de Conversão Fpuv kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia primária fa. δv.Nvc.Fpuv/ ηv kWh _{EP} /m ² .ano
sistema por defeito	eletricidade	38,30	1	0,95	2,5	100,79
TOTAL			1		TOTAL	100,79

C4.7.3. Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS de referência

	40
	X
Número convencional de ocupantes da fração, n	2
	X
Fator de eficiência hídrica f_{ef}	1
	=
Consumo médio diário de referência, M_{AQS}	80

M_{AQS}	80	l
	X	
	4187	
	x	
Aumento de temp., Δt	35	
	X	
Dias de consumo	365	dias
	:	
	3600000	
	:	
Ap	97,4	m ²
	=	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, Qa/Ap	12,20	kWh/m ² .ano

Sistema para AQS	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Qa/Ap [kWh/m ² .ano]	fa	Eficiência Nominal ηá	Fator de Conversão Fpua [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fa. δ.Qa.Fpua/ ηa [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	12,20	1,00	0,95	2,50	32,12
TOTAL		1			TOTAL	32,12

C4.7.4. Limite das necessidades nominais globais de energia primária

Energia primária para aquecimento (ponto C4.7.2.)	162,45	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento (ponto C4.7.2.)	100,79	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para preparação de AQS (ponto C4.7.3.)	32,12	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária Nt	295,35	kWh_{EP}/m².ano

C5. Valores de referência do projeto B

C5.1. Transferência de calor por transmissão de referência

C5.1.1. Envoltente exterior

Elementos opacos exteriores	Área A [m ²]	U ref [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Parede exterior 1_Noroeste	28,50	0,4	11,4
Parede exterior 2_Noroeste	7,18	0,4	2,87
Parede exterior 1_Nordeste	5,40	0,4	2,16
Parede exterior 2_Nordeste	3,41	0,4	1,36
Parede exterior 1_Sudeste	26,19	0,4	10,48
Parede exterior 2_Sudeste	5,81	0,4	2,32
Parede exterior 1_Sudoeste	16,90	0,4	6,76
Cobertura inclinada	107,50	0,35	37,63
TOTAL			74,98

Vãos envidraçados exteriores	Área A [m ²]	U ref [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Envidraçados Sala/Kitchenete_Noroeste	3,91	2,4	9,38
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudoeste	3,91	2,4	9,38
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudeste	6,22	2,4	14,93
Envidraçados Quarto_Noroeste	1,95	2,4	4,68
Envidraçados Quarto_Sudeste	1,95	2,4	4,68
Envidraçados Quarto_Nordeste	4,09	2,4	9,82
Envidraçados Instalação Sanitária_Noroeste	0,54	2,4	1,3
Envidraçados Instalação Sanitária_Nordeste	4,4	2,4	10,56
Envidraçados Instalação Sanitária_Sudeste	1,89	2,4	4,54
TOTAL			69,26

Pontes térmicas lineares	Comp. B [m]	ψ ref [W/m.°C]	ψ.B [W/ °C]
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 1	67,00	0,2	13,4
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 2	17,20	0,2	3,44
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 1	23,86	0,5	11,93
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 2	9,25	0,5	4,63
Fachada com cobertura em contacto paredes 1	40,72	0,5	20,36
Fachada com cobertura em contacto paredes 2	10,97	0,5	5,49
Fachada com varanda	12,68	0,5	6,34
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 1	10,84	0,4	4,34
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 2	5,42	0,4	2,17
TOTAL			72,08

Coefficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior Hext ref	216,33 [W/ °C]
--	----------------

C5.1.2. Elementos em contacto com o solo

Paredes térreas - Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade $z \leq 0$) com ou sem isolamento térmico perimetral	Área A [m ²]	Uf ref [W/m ² .°C]	A.Ubf [W/ °C]
Pavimento sem isolamento térmico	107,06	0,5	53,53
TOTAL			53,53

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo Hecs ref	53,53 [W/ °C]
---	---------------

C5.1.3. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext ref (Ponto C5.1.1.)	216,33	W/ °C
		+	
	Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu ref + Hadj ref	0,00	W/ °C
		+	
	Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs ref (Ponto C5.1.2.)	53,53	W/ °C
		=	
	Coefficiente de transferência de calor por transmissão Htr ref	269,86	W/ °C

C5.2. Transferência de calor por ventilação de referência

C5.2.1. Estação de aquecimento

	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,i REF	0,40	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	x	
Pé direito médio da fração Pd	2,71	m
	=	
Coefficiente de transferência de calor por ventilação Hve,i REF	39,46	W/ °C

C5.3. Ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência

C5.3.1. Ganhos térmicos brutos de referência

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ ($G_{sol} \times 0,146 \times 0,15 \times M$)	16,5564	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (ponto C2.4.2.)	1664,99	kWh/ano
	=	
Ganhos térmico brutos $Q_{g, i REF}$	1681,55	kWh/ano

C5.4. Ganhos térmicos estação de arrefecimento de referência

C5.4.1. Ganhos térmicos brutos de referência

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
	:	
	1000	
	+	
Fator solar de verão de referência $g_{v REF}$	0,43	
	x	
$A_w/A_{p REF}$	0,2	20%
	x	
Radiação solar média de referência $I_{sol REF}$	500	kWh/m ² .ano
	=	
	54,71	kWh/m ² .ano
	x	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	=	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$	5857,47	kWh/ano

C5.5. Limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento

C5.5.1. Coeficiente de transferência de calor de referência

Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ (Ponto C5.1.3.)	269,86	W/°C
	+	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$ (Ponto C5.2.1.)	39,46	W/°C
	=	
Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$	309,32	W/°C

C5.5.2. Transferência de calor por transmissão de referência

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ (ponto C5.1.3.)	269,86	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i REF}$	8251,21	kWh/ano

C5.5.3. Transferência de calor por renovação do ar de referência

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$ (ponto C5.2.1.)	39,46	W/°C
	=	
Transf. de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$	1206,47	kWh/ano

C5.5.4. Fator de utilização de ganhos de referência

Factor de utilização dos ganhos h_{iREF}	0,94
	x
Ganhos térmicos brutos $Q_{g, REF}$ (ponto C5.4.1.)	1681,55 kWh/ano
	=
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i REF}$	1580,66

C5.5.5. Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i REF}$ (ponto C5.5.2.)	8251,21 kWh/ano
+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$ (ponto C5.5.3.)	1206,47 kWh/ano
-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i REF}$ (ponto C5.5.4.)	1580,66 kWh/ano
=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	7877,02 kWh/ano
:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
=	
Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_i	73,58 kWh/m².ano

C5.6. Limite máximo das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

C5.6.1. Coeficiente de utilização de ganhos de referência

Fator de utilização dos ganhos $\eta_{REF v}$	0,30
---	------

C5.6.2. Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$1 - \eta_{REF v}$	0,70
x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$ (ponto C5.4.1.)	5857,47 kWh/ano
:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
=	
Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento N_v	38,30 kWh/m².ano

C5.7. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

C5.7.1. Necessidades nominais de energia primária para aquecimento de referência

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic [kWh/m ² .ano]	fi	Eficiência Nominal ηi	Fator de Conversão Fpui [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fi. δi.Nic.Fpui/ ηi [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	73,58	1	1	2,5	183,94
TOTAL			1		TOTAL	183,94

C5.7.2. Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento de referência

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic kWh/m ² .ano	fv.δ	Eficiência Nominal ηv	Fator de Conversão Fpuv kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia primária fa. δv.Nvc.Fpuv/ ηv kWh _{EP} /m ² .ano
sistema por defeito	eletricidade	38,30	1	3	2,5	31,92
TOTAL			1		TOTAL	31,92

C5.7.3. Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS de referência

	40
	X
Número convencional de ocupantes da fração, n	2
	X
Fator de eficiência hídrica f_{ef}	1
	=
Consumo médio diário de referência, M_{AQS}	80

M_{AQS}	80	l
	X	
	4187	
	x	
Aumento de temp., Δt	35	
	X	
Dias de consumo	365	dias
	:	
	3600000	
	:	
A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, Qa/Ap		11,10 kWh/m ² .ano

Sistema para AQS	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Qa/Ap [kWh/m ² .ano]	fa	Eficiência Nominal η_a	Fator de Conversão F_{pua} [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fa · δ · Qa · F_{pua} / η_a [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	11,10	1,00	0,95	2,50	29,22
TOTAL		1			TOTAL	29,22

C5.7.4. Limite das necessidades nominais globais de energia primária

Energia primária para aquecimento (ponto C5.7.2.)	183,94	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento (ponto C5.7.2.)	31,92	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para preparação de AQS (ponto C5.7.3.)	29,22	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária Nt	245,07	kWh_{EP}/m².ano

C6. Valores de referência do projeto C

C6.1. Transferência de calor por transmissão de referência

C6.1.1. Envoltente exterior

Elementos opacos exteriores	Área A [m ²]	U ref [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Parede exterior 1_Noroeste	28,50	0,4	11,4
Parede exterior 2_Noroeste	7,18	0,4	2,87
Parede exterior 1_Nordeste	5,40	0,4	2,16
Parede exterior 2_Nordeste	3,41	0,4	1,36
Parede exterior 1_Sudeste	26,19	0,4	10,48
Parede exterior 2_Sudeste	5,81	0,4	2,32
Parede exterior 1_Sudoeste	16,90	0,4	6,76
Cobertura inclinada	107,50	0,35	37,63
TOTAL			74,98

Vãos envidraçados exteriores	Área A [m ²]	U ref [W/m ² .°C]	U.A [W/ °C]
Envidraçados Sala/Kitchenete_Noroeste	3,91	2,4	9,38
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudoeste	3,91	2,4	9,38
Envidraçados Sala/Kitchenete_Sudeste	6,22	2,4	14,93
Envidraçados Quarto_Noroeste	1,95	2,4	4,68
Envidraçados Quarto_Sudeste	1,95	2,4	4,68
Envidraçados Quarto_Nordeste	4,09	2,4	9,82
Envidraçados Instalação Sanitária_Noroeste	0,54	2,4	1,3
Envidraçados Instalação Sanitária_Nordeste	4,4	2,4	10,56
Envidraçados Instalação Sanitária_Sudeste	1,89	2,4	4,54
TOTAL			69,26

Pontes térmicas lineares	Comp. B [m]	ψ ref [W/m.°C]	ψ.B [W/ °C]
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 1	67,00	0,2	13,4
Fachada com Caixilharia em contacto com paredes 2	17,20	0,2	3,44
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 1	23,86	0,5	11,93
Fachada com pavimentos térreos em contacto paredes 2	9,25	0,5	4,63
Fachada com cobertura em contacto paredes 1	40,72	0,5	20,36
Fachada com cobertura em contacto paredes 2	10,97	0,5	5,49
Fachada com varanda	12,68	0,5	6,34
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 1	10,84	0,4	4,34
Duas paredes verticais em ângulo saliente paredes 2	5,42	0,4	2,17
TOTAL			72,08

Coeficiente de transferência de calor por condução pela envolvente exterior Hext ref	216,33 [W/ °C]
---	----------------

C6.1.2. Elementos em contacto com o solo

Paredes térreas - Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade $z \leq 0$) com ou sem isolamento térmico perimetral	Área A [m ²]	Uf ref [W/m ² .°C]	A.Ubf [W/ °C]
Pavimento sem isolamento térmico	107,06	0,5	53,53
	TOTAL		53,53

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo Hecs ref	53,53 [W/ °C]
--	---------------

C5.1.3. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

INVERNO	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior Hext ref (Ponto C5.1.1.)	216,33	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior Henu ref + Hadj ref	0,00	W/ °C
		+	
	Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo Hecs ref (Ponto C5.1.2.)	53,53	W/ °C
		=	
	Coeficiente de transferência de calor por transmissão Htr ref	269,86	W/ °C

C6.2. Transferência de calor por ventilação de referência

C6.2.1. Estação de aquecimento

	0,34	
	x	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento Rph,i REF	0,50	h ⁻¹
	x	
Área interior útil de pavimento Ap	107,06	m ²
	x	
Pé direito médio da fração Pd	2,71	m
	=	
Coeficiente de transferência de calor por ventilação Hve,i REF	49,32	W/ °C

C6.3. Ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência

C6.3.1. Ganhos térmicos brutos de referência

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ ($G_{sol} \times 0,146 \times 0,15 \times M$)	16,55	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (ponto C3.4.2.)	1664,99	kWh/ano
	=	
Ganhos térmico brutos $Q_{g, i REF}$	1681,55	kWh/ano

C6.4. Ganhos térmicos estação de arrefecimento de referência

C6.4.1. Ganhos térmicos brutos de referência

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
	:	
	1000	
	+	
Fator solar de verão de referência $g_{v REF}$	0,43	
	x	
$A_w/A_p REF$	0,2	20%
	x	
Radiação solar média de referência $I_{sol REF}$	500	kWh/m ² .ano
	=	
	54,71	kWh/m ² .ano
	x	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06	m ²
	=	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$	5857,47	kWh/ano

C6.5. Limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento

C6.5.1. Coeficiente de transferência de calor de referência

Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ (Ponto C6.1.3.)	269,86	W/°C
	+	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$ (Ponto C6.2.1.)	49,32	W/°C
	=	
Coef. de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$	319,18	W/°C

C6.5.2. Transferência de calor por transmissão de referência

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ (ponto C6.1.3.)	269,86	W/°C
	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i REF}$	8251,21	kWh/ano

C6.5.3. Transferência de calor por renovação do ar de referência

	0,024	
	x	
Número de graus-dias aquecimento GD	1274	°C.dias
	x	
Coef. de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$ (ponto C6.2.1.)	49,32	W/°C
	=	
Transf. de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$	1508,09	kWh/ano

C6.5.4. Fator de utilização de ganhos de referência

Factor de utilização dos ganhos h_{iREF}	0,6	
	x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g, REF}$ (ponto C6.4.1.)	1681,55	kWh/ano
	=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i REF}$	1008,93	

C6.5.5. Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i REF}$ (ponto C6.5.2.)	8251,21 kWh/ano
+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$ (ponto C6.5.3.)	1508,09 kWh/ano
-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i REF}$ (ponto C6.5.4.)	1008,93 kWh/ano
=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	8750,36 kWh/ano
:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
=	
Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_i	81,73 kWh/m².ano

C6.6. Limite máximo das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

C6.6.1. Coeficiente de utilização de ganhos de referência

Fator de utilização dos ganhos $\eta_{REF v}$	0,30
---	------

C6.6.2. Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$1 - \eta_{REF v}$	0,70
x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$ (ponto C6.4.1.)	5857,47 kWh/ano
:	
Área interior útil de pavimento A_p	107,06 m ²
=	
Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento N_v	38,30 kWh/m².ano

C6.7. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

C6.7.1. Necessidades nominais de energia primária para aquecimento de referência

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic [kWh/m ² .ano]	fi	Eficiência Nominal ηi	Fator de Conversão Fpui [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fi. δi.Nic.Fpui/ ηi [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	81,73	1	1	2,5	204,33
TOTAL			1		TOTAL	204,33

C6.7.2. Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento de referência

Sistema para aquecimento	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Nic kWh/m ² .ano	fv.δ	Eficiência Nominal ηv	Fator de Conversão Fpuv kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia primária fa. δv.Nvc.Fpuv/ ηv kWh _{EP} /m ² .ano
sistema por defeito	eletricidade	38,30	1	3	2,5	31,92
TOTAL			1		TOTAL	31,92

C6.7.3. Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS de referência

	40
	X
Número convencional de ocupantes da fração, n	2
	X
Fator de eficiência hídrica f_{ef}	1
	=
Consumo médio diário de referência, M_{AQS}	80

M_{AQS}	80	l
	X	
	4187	
	x	
Aumento de temp., Δt	35	
	X	
Dias de consumo	365	dias
	:	
	3600000	
	:	
A_p	107,06	m ²
	=	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, Qa/Ap		11,10 kWh/m ² .ano

Sistema para AQS	Fonte de energia	Necessidades de Energia Útil Qa/Ap [kWh/m ² .ano]	fa	Eficiência Nominal η_a	Fator de Conversão F_{pua} [kWh _{EP} /kWh]	Necessidades de energia primária fa · δ · Qa · F_{pua} / η_a [kWh _{EP} /m ² .ano]
sistema por defeito	eletricidade	11,10	1,00	0,95	2,50	29,22
TOTAL		1			TOTAL	29,22

C6.7.4. Limite das necessidades nominais globais de energia primária

Energia primária para aquecimento (ponto C6.7.2.)	204,33	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento (ponto C6.7.2.)	31,92	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para preparação de AQS (ponto C6.7.3.)	29,22	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária Nt	265,47	kWh_{EP}/m².ano