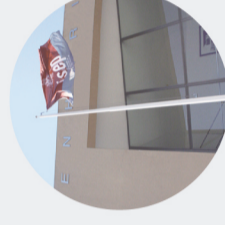




Reabilitação de Fachadas de Edifícios Antigos do Porto

JOÃO MIGUEL DA COSTA MAGALHÃES

novembro de 2018



Reabilitação de Fachadas de Edifícios Antigos do Porto

Reabilitação de Fachadas de Edifícios Antigos do Porto

JOÃO MIGUEL DA COSTA MAGALHÃES
Outubro de 2018



REABILITAÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS DO PORTO

JOÃO MIGUEL DA COSTA MAGALHÃES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Engenheiro José Carlos Rodrigues Campeão

Outubro de 2018

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	x
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	1
CAPÍTULO 1 Introdução.....	3
CAPÍTULO 2 Análise e caracterização construtiva dos edifícios	5
CAPÍTULO 3 Inspeção, Análise de anomalias e diagnóstico.....	23
CAPÍTULO 4 Desenvolvimento de metodologias e soluções de intervenção	49
CAPÍTULO 5 Caso de estudo	69
CAPÍTULO 6 Conclusões e futuros desenvolvimentos.....	123
Referências bibliográficas.....	125
Anexos	127
Anexo I - Plantas do edifício em estudo;	
Anexo II - Tabelas de cálculo folha Itecons solução original;	
Anexo III - Tabelas de cálculo folha Itecons solução de melhoria.	

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de concluir os estudos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. A dissertação desenvolvida tem por base uma análise ao parque edificado do Porto referente a edifícios antigos (pré betão-armado), antes de 1930-40, esperando-se que no final o trabalho sirva como esclarecimento e elemento de consulta para as diversas anomalias presentes.

Após uma breve descrição dos objetivos da dissertação e da sua estrutura, elaborou-se um pequeno capítulo onde se descrevem as características construtivas e dos materiais utilizados nos edifícios e as suas composições.

Na parte final do trabalho, foi desenvolvido um caso prático de estudo, relativo a um edifício localizado no quarteirão de Carlos Alberto, mais concretamente na Rua Noronha de Sá, número 153.

No desenvolvimento deste caso de estudo, serão propostas medidas de reabilitação da fachada, assim como a nível térmico e acústico, serão propostas soluções de melhoria.

Palavras-chave: fachadas; anomalias; edifício antigo; soluções de reabilitação; térmica, acústica.

ABSTRACT

The present work was carried out with the objective to complete the studies to obtain the degree of Master in Civil Engineering. The dissertation developed is based on an analysis of Porto's built-up park in precast concrete old buildings, prior to the 1930-40 period, and it is hoped that in the end this work will serve as a clarification and a means of solving the various anomalies present in the buildings of Porto. After a brief description of the objectives of this dissertation and its structure, it was necessary to elaborate a short chapter describing all the characteristics of the materials used in the buildings and their compositions. In this work in the end, will be developed a practical case study of a building in the block of Carlos Alberto, more specifically in Rua Noronha de Sá, with door number 153.

In the development of this case study will be proposed measures of rehabilitation of the façade, as well as thermal and acoustic will indicate improvement solutions.

Keywords: anomalies; old buildings; rehabilitation solutions; thermal; acoustic.

AGRADECIMENTOS

É com enorme satisfação que refiro os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que me auxiliaram, direta ou indiretamente, neste percurso académico e especialmente na realização deste projeto e conclusão de curso, nesta etapa importante da minha vida.

Um especial agradecimento aos meus pais, irmã e namorada por todo o apoio, nos momentos positivos e negativos e incentivo moral necessário para conclusão deste percurso curricular.

Quero também agradecer pela orientação dada pelo Professor Engenheiro José Campeão e pelos conhecimentos transmitidos ao longo deste acompanhamento.

A todos, muito obrigado.

ÍNDICE DE TEXTO

1.1	Considerações Iniciais	3
1.2	Estrutura da dissertação	4
1.3	Objetivo da dissertação	4
2.1	Paredes das fachadas	5
2.1.1	Composição material das paredes de fachada	6
2.2	Janelas	13
2.2.1	Janelas de peito e de sacada de batente	14
2.3	Portas	16
2.4	Varandas de sacada	19
2.5	Guardas	20
2.6	Portadas interiores	21
2.7	Drenagem de águas pluviais	22
3.1	Elaboração de diagnóstico	24
3.2	Análise e desenvolvimento das anomalias	27
3.2.1	Anomalias em alvenarias de pedra (paredes exteriores)	27
3.2.2	Anomalias em cantarias (paredes exteriores)	32
3.3	Anomalias em elementos não estruturais	34
3.3.1	Fatores que originam a humidade nos edifícios	34
3.3.2	Anomalias nos revestimentos	37
3.3.3	Anomalias nas caixilharias	40
3.3.4	Anomalias nas portadas	42
3.3.5	Anomalias nas guardas das varandas	43
3.3.6	Anomalias nas portas exteriores de entrada	44
3.3.7	Anomalias nos tubos de queda	45
3.3.8	Anomalias nas pinturas	46

4.1	Reabilitação de anomalias nas paredes da fachada de alvenaria de granito	51
4.2	Reabilitação de anomalias nos revestimentos	52
4.2.1	Revestimento cerâmico	52
4.2.2	Revestimento pintado	54
4.3	Reabilitação de anomalias nas cantarias e cornijas	56
4.4	Reabilitação de anomalias nos envidraçados	58
4.5	Reabilitação das guardas das varandas	62
4.6	Reabilitação das portas exteriores de entrada	63
4.7	Reabilitação de tubos de queda de águas pluviais	68
5.1	Caraterização do edifício	69
5.1.1	Projeto de arquitetura existente para a reabilitação do edifício	71
5.1.2	Análise térmica da fração T1 do 2º piso	74
5.1.3	Delimitação e caraterização das Envolventes	75
5.2	Requisitos mínimos de qualidade das envolventes opacas e envidraçados	78
5.2.1	Envolvente opaca	78
5.2.2	Inércia e massa superficial dos elementos da fração em estudo	83
5.2.3	Envolvente envidraçada	84
5.2.4	Cálculo das pontes térmicas lineares	90
5.2.5	Determinação da taxa de renovação de ar existente	91
5.2.6	Aquecimento das águas sanitárias (AQS)	92
5.2.7	Desempenho energético da fração e respetiva classificação	93
5.3	Medidas de melhoria a implementar	94
5.3.1	Pontes térmicas lineares nas soluções de melhoria	100
5.3.2	Desempenho energético da Fração após melhorias	101
5.4	Estudo acústico após intervenção de melhoria	102
5.4.1	Isolamento sonoro para sons de condução aérea	104

5.4.2	Isolamento sonoro para sons de percussão	108
5.5	Reabilitação da fachada	109
5.5.1	Parede da fachada	110
5.5.2	Reabilitação dos envidraçados	113
5.5.3	Reabilitação das cantarias	116
5.5.4	Reabilitação da porta de entrada	117
5.5.5	Reabilitação das cornijas	119
5.5.6	Reabilitação dos tubos de queda e caleiras	120
5.6	Síntese da reabilitação térmica da fração	121
6	Conclusão e futuros desenvolvimentos	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Alinhamento e arquitetura dos edifícios nas imediações do jardim de S. Lázaro.	5
Figura 2.2 - Elementos decorativos na fachada próximo da Alfândega do Porto.....	6
Figura 2.3 - Corte de uma parede de fachada junto à Ponte do Infante.	7
Figura 2.4 - Fachada revestida a cerâmica.	8
Figura 2.5 - Parede em tabique simples reforçado.	9
Figura 2.6 – Esquema de parede em tabique simples. [15]	10
Figura 2.7 – Esquema de parede em tabique com prumo na diagonal. [14]	10
Figura 2.8 – Esquema ilustrativo da ligação do frechal à tábuca. [15]	11
Figura 2.9 – Edifícios com acabamento em azulejo.	12
Figura 2.10 - Descolamento dos azulejos da parede.....	12
Figura 2.11 - Foto detalhada das argamassas de ligação do azulejo à fachada e consecutiva desagregação da argamassa.	13
Figura 2.12 – Tipo de janelas; a) Janela de peito de batente; b) Janela de peito de guilhotina.	14
Figura 2.13 - Plano de pormenor de um envidraçado antigo. [5]	15
Figura 2.14 - Porta em mau estado de conservação encimada com bandeira em vidro e vidros na zona das folhas e abertura da porta.....	16
Figura 2.15 – Porta em mau estado de conservação encimada com bandeira em vidro com almofadas de madeira.	16
Figura 2.16 – Exemplos de diversas portas de entrada.....	17
Figura 2.17 - Exemplos de portas de entrada em madeira.	18
Figura 2.18 - Varanda de sacada em edifício debilitado.	19
Figura 2.19 - Pormenor de ligação da varanda com a estrutura da fachada principal.	19
Figura 2.20 – Guarda metálica de varanda.	20

Figura 2.21 – Varanda com guarda metálica e zona em marquise.	20
Figura 2.22 – Portadas interiores nos envidraçados.	21
Figura 2.23 – Portadas de três folhas interiores.	21
Figura 2.24 – Tubos de queda; a) tubo em pvc; b) tubo em ferro fundido.	22
Figura 3.1 - Ocorrência de uma ação biológica em fachada provocando separação da união entre os azulejos e as cantarias em torno da janela de guilhotina.	26
Figura 3.2 - Oxidação das chapas de revestimento da fachada de tardoz.	26
Figura 3.3 - Parede de fachada com o tabique exposto, permitindo infiltrações em grande escala para o interior.	28
Figura 3.4 - Corte de uma parede principal em alvenaria onde estaria fixada uma portada.	29
Figura 3.5 - Parede de alvenaria com juntas irregulares sem argamassa a servir de revestimento.	30
Figura 3.6 - Presença de fissuras junto da zona envolvente entre envidraçados / portas.	30
Figura 3.7 - Desagregação das argamassas devido à presença da humidade.	31
Figura 3.8 - Fissura de grande expressão numa fachada, colmatada com algumas pequenas pedras.	31
Figura 3.9 - Ornamentação nas cantarias contribuindo para uma estética extremamente nobre.	32
Figura 3.10 - Presença de sujidade e fungos nas peças de cantaria.	33
Figura 3.11 - Exemplo de cornija num edifício.	33
Figura 3.12 - Cornijas com sujidade, manchas e algumas fissurações.	34
Figura 3.13 - Exemplo de betuminoso exposto, que se aplicava, por vezes (como se observa) com duvidosos resultados, para melhorar a impermeabilização de uma fachada revestida a azulejo.	35
Figura 3.14 - Fachada totalmente degradada devido à presença de humidade proveniente de anomalias na cobertura.	37
Figura 3.15 - Presença de humidade que causou desagregação da argamassa de revestimento e posterior queda.	38
Figura 3.16 - Abertura na argamassa de revestimento que possibilita a penetração de água e consequente empolamento do reboco.	38
Figura 3.17 - Fachada de tardoz com bastante oxidação nas chapas de revestimento.	39
Figura 3.18 - Presença de humidade nas madeiras dos envidraçados.	40

Figura 3.19 - Descamação da pintura devido à presença de humidade.	41
Figura 3.20 - Desgaste visível nas massas de vedação dos vidros na zona dos caixilhos e presença de vidros partidos.	42
Figura 3.21 - Portadas interiores de madeira de cor branca.....	43
Figura 3.22 - Guarda metálica de varanda.	44
Figura 3.23 - Porta de entrada com anomalias (vidro superior esquerdo partido, grades de proteção oxidadas, madeira com tinta degradada e ausência de puxador de abertura da porta).	45
Figura 3.24 - Porta de entrada com anomalias (ausência de tinta protetora da madeira e do puxador esquerdo).	45
Figura 3.25 - Tubo em plástico partido e com fixação oxidada.....	46
Figura 3.26 - Descoloração do piso 2 em relação ao piso 1.	46
Figura 3.27 - Manchas e sujidade na pintura da fachada.....	47
Figura 3.28 - Destacamento da tinta da sua base de aplicação.	48
Figura 4.1 - Teatro de S. João no Porto com fachada totalmente reabilitada.	49
Figura 4.2 - Edifício de cêrcea mais baixa a necessitar de intervenção profunda a nível estrutural e de fachada sem prejudicar os demais edifícios adjacentes.	50
Figura 4.3 – Revestimento cerâmico devidamente reabilitado e preservado.	52
Figura 4.4 - Aplicação do mástique.	53
Figura 4.5 - Linhadas de sisal. [5]	53
Figura 4.6 – Fachada com acabamento pintado a ser reabilitada.	54
Figura 4.7 – Acabamento pintado em muito mau estado de conservação.	55
Figura 4.8 - Cantaria com eflorescências	57
Figura 4.9 - Cantarias devidamente reabilitadas.....	57
Figura 4.10 - Cornijas devidamente reabilitadas.....	57
Figura 4.11 - Caixilhos de madeira em relativamente bom estado (embora com deficiências de pintura).	58
Figura 4.12 - Caixilharias de madeira reabilitadas.	59

Figura 4.13 - Caixilharia metálica, manifestamente desenquadrada dos elementos circundantes, no que respeita a formato e aspeto.....	60
Figura 4.14 - Envidraçados rehabilitados, faltando aplicar a pintura sobre a madeira.....	61
Figura 4.15 - Guarda de varanda em ferro forjado.	62
Figura 4.16 – Guarda em ferro forjado na varanda do 1º piso e ferro fundido no 2º piso com outra ornamentação.....	62
Figura 4.17 - Guarda de ferro fundido muito pormenorizada a nível de ornamentação.	63
Figura 4.18 - Guarda em granito com balaústres.....	63
Figura 4.19 - Portas exteriores de entradas encimadas por bandeira com gradeamento de ferro fundido (note-se a anomalia da porta direita, sem esse elemento metálico).	64
Figura 4.20 – Exemplos de caixas de correio.....	65
Figura 4.21 – Puxadores e fechaduras antigas em ferro forjado; a) dupla fechadura antiga e pormenor da irregularidade da alvenaria; b) Puxador em ferro; c) Puxador com ornamentação; d) Puxador de era mais moderna estilizada desde a pega à sua base de suporte.	66
Figura 4.22 – Portas devidamente rehabilitadas.....	67
Figura 5.1 - Localização do edifício. [19]	69
Figura 5.2 - Edifício em estudo.	70
Figura 5.3 - Delimitação da Área de Reabilitação Urbana do Porto a cor cinzenta. [9]	71
Figura 5.4 - Plantas de arquitetura; a) Planta do rés-do-chão; b) Planta do 1º piso.....	72
Figura 5.5 – Plantas de arquitetura; c) Planta do 2º piso (Fração em estudo para simulação térmica e acústica); d) Planta do 3º piso.....	73
Figura 5.6 -Alçado principal do edifício em estudo	73
Figura 5.7 – Esquema ilustrativo da marcação das envolventes.....	76
Figura 5.8 – Marcação de envolventes e pavimento.....	77
Figura 5.9 - Marcação de envolventes e tetos.	77
Figura 5.10 - Esquema da solução original construtiva da parede exterior PE01.....	79
Figura 5.11 - Esquema da solução original construtiva da parede interior PI01.....	80
Figura 5.12 - Esquema da solução original construtiva da cobertura na zona do recuado C01 e solução original de pavimentos.....	81

Figura 5.13 - Envolvente envidraçada da fração em estudo.	84
Figura 5.14- Designações atribuídas aos envidraçados em estudo.	85
Figura 5.15 – Compartimento servido pelo envidraçado EV01.....	86
Figura 5.16 - Compartimentos servidos pelos envidraçados EV02 e EV03.	87
Figura 5.17 – Descrição dos ângulos de sombreamento; a) Ângulo de sombreamento causado por elementos horizontais [Fh]; b) Ângulo de sombreamento causado por elementos verticais [Ff].	88
Figura 5.18 - Esquema de simulação da ventilação da fração em estudo.	92
Figura 5.19 – Diagrama de classificação energética. [20]	93
Figura 5.20 - Esquema da solução de melhoria para a parede exterior PE01.	94
Figura 5.21 - Esquema da solução de melhoria para a parede interior com as zonas comuns PI01.	96
Figura 5.22 - Esquema da solução de melhoria para a cobertura na zona do recuado C01.....	97
Figura 5.23 – Esquema estrutural da solução de melhoria do pavimento entre habitações PV01.	98
Figura 5.24 – Esquema estrutural de dupla caixilharia com portadas existentes.....	100
Figura 5.25 – Corte da solução de caixilharia de duplo vão.	100
Figura 5.26 – Termoacumulador da marca Vulcano. [5]	101
Figura 5.27 – Diagrama de classificação energética. [20]	102
Figura 5.28 - Gráfico de previsão – Lei da massa. [12].....	105
Figura 5.29 – Gráfico de incremento de redução sonora. [12]	105
Figura 5.30 – Índice de redução sonora do elemento mais pesado.	106
Figura 5.31 – Incremento do coeficiente de redução sonora.	107
Figura 5.32 – Fachada do edifício em estudo.....	110
Figura 5.33 – Presença de humidade pelo interior da parede exterior de fachada.	110
Figura 5.34 – Destacamento da argamassa de reboco.	111
Figura 5.35 – Rede de fibra de vidro. [5].....	112
Figura 5.36 – Esquadrias em cantaria nos envidraçados.	112
Figura 5.37 – Extrato do catálogo de cores exteriores. [11]	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.38 – Envidraçados presentes no edifício em análise.....	113
Figura 5.39 – Ausência de betumação nas juntas e acabamento degradado pelo interior e exterior. ...	114
Figura 5.40 – Peitoril de um dos envidraçados.	115
Figura 5.41 – Suportes da zona superior do envidraçado degradados.	116
Figura 5.42 – Peças de cantaria presentes na fachada.	116
Figura 5.43 – Elementos de cantaria na zona de entrada e comércio.	117
Figura 5.44 – Porta de entrada.....	117
Figura 5.45 – Ferragens onde a porta fica devidamente trancada.	118
Figura 5.46 – Fechadura e puxador da porta de entrada.....	118
Figura 5.47 – Elementos presentes na porta de entrada.	119
Figura 5.48 – Cornijas com anomalias de origem biológica.	119
Figura 5.49 – Tubo de queda em PVC.....	120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resumo dos aspetos a ter em conta na inspeção de um edifício. [7]	24
Tabela 5.1 - Valores de referência e declive para ajustes em altitude para a estação de aquecimento (REH).....	74
Tabela 5.2 - Critérios para a determinação da zona climática de Inverno (REH).....	74
Tabela 5.3 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento (REH).....	75
Tabela 5.4 - Critérios para a determinação da zona climática de Verão (REH).....	75
Tabela 5.5 – Determinação do coeficiente de redução btr.....	76
Tabela 5.6 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria ou cantaria aparelhada (granito), sem rebocos (e com $R_{se} + R_{si} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}$). [18].....	78
Tabela 5.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede da fachada PE01.	79
Tabela 5.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior com zonas comuns PI01.....	80
Tabela 5.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura C01.	81
Tabela 5.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior PV01.	82
Tabela 5.11 - Determinação da inércia térmica.	83
Tabela 5.12 – Classe de inércia térmica, I_t	83
Tabela 5.13 – Descrição de área e respetiva orientação dos envidraçados.	86
Tabela 5.14 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados. [REH].....	88
Tabela 5.15 - Determinação dos ângulos formados por palas horizontais e verticais.....	89
Tabela 5.16 – Valores dos fatores de sombreamento por palas horizontais.....	89
Tabela 5.17 - Valores dos fatores de sombreamento por palas verticais.....	89
Tabela 5.18 - Verificação do fator solar global dos vãos envidraçados.	90
Tabela 5.19 - Pontes térmicas lineares exteriores	90

CAPÍTULO 1

Tabela 5.20 - Pontes térmicas lineares interiores	91
Tabela 5.21 – Dados informativos do local e da fração para cálculo da ventilação.....	92
Tabela 5.22 – Necessidades de energia e respetivas verificações	93
Tabela 5.23 - Cálculo do novo coeficiente de transmissão térmica da parede PE01.....	95
Tabela 5.24 - Cálculo do novo coeficiente de transmissão térmica da parede PI01.....	96
Tabela 5.25 - Cálculo do novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior C01.	97
Tabela 5.26 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior PV01.	98
Tabela 5.27 – Pontes térmicas lineares com as soluções de melhoria adotadas.....	100
Tabela 5.28 – Pontes térmicas lineares interiores.	101
Tabela 5-29 - Necessidades de energia com as soluções de melhoria adotadas.....	102
Tabela 5.30 – Esquemas sintetizados da reabilitação térmica das paredes.	121
Tabela 5.31 - Esquemas sintetizados da reabilitação térmica de pavimentos e cobertura.....	122

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O parque edificado da cidade do Porto, no que se refere ao setor habitacional, é, de uma forma geral, um parque envelhecido. Apesar de a reabilitação urbana já a decorrer e a estabelecer-se na cidade com muita determinação, ainda se observa a existência de muitos edifícios bastante degradados, alguns em ruína completa, que requerem uma observação, análise, intervenção e resolução das anomalias existentes.

“Uma ação de reabilitação desenvolvida sobre um edifício consiste em resolver os danos físicos e a patologia construtiva e ambiental, acumuladas ao longo dos anos, assim como introduzir uma beneficiação geral, modernizando as instalações e equipamentos existentes, tornando esse edifício apto para o seu completo e atualizado uso como residência ou outro tipo de utilização.” [1]

Portanto, o conceito de reabilitação deverá ser aplicado em consciência de que todos os componentes do edifício terão de ser estudados e devidamente analisados, deverá abordar-se o estudo do enquadramento histórico do edifício, e na composição da sua fachada obrigatoriamente terá de se cumprir o condicionamento urbanístico envolvente, preservando a traça original do edificado em estudo.

A reabilitação urbana, no caso do nosso país, é alvo de incentivos e benefícios fiscais, que visam promover e acelerar o processo de reabilitação das cidades envelhecidas. Estes benefícios passam pela redução da taxa do IVA, que se fixa nos 6%, e também nas taxas municipais, o que se traduz numa redução do quociente custo obra / empreitada muito significativa.

No entanto, para poder ser abrangido por estes incentivos fiscais, o edifício em causa terá de estar inserido numa Área de Reabilitação Urbana (ARU) definida pela Sociedade de Reabilitação Urbana da cidade e cumprir uma série de requisitos a nível de estado de conservação e de melhoria após a obra realizada.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, sendo eles a introdução, o enquadramento dos métodos construtivos, descrição das diversas anomalias observadas, respetivas medidas construtivas, a elaboração do caso de estudo e considerações finais.

O primeiro capítulo engloba o enquadramento do presente trabalho, e uma breve apresentação do tema que se vai abordar.

No segundo capítulo encontra-se toda a análise e caracterização construtiva dos edifícios antigos do Porto datados anteriormente a 1930. Toda esta análise é de fundamental importância para existir enquadramento nos seguintes capítulos e ganhar uma melhor compreensão sobre determinadas anomalias e soluções possíveis, abordadas ao longo da dissertação.

O terceiro capítulo diz respeito à descrição de todas as anomalias observadas e estudadas nos elementos que constituem uma fachada em edifícios históricos, no centro da cidade do Porto.

Após esta descrição são apresentadas as soluções das anomalias descritas, como meio de resolução de diversos problemas que atingem os edifícios antigos. Por fim é elaborado o caso de estudo, onde será alvo de análise das anomalias presentes na fachada e, por forma a enriquecer este trabalho, será desenvolvido um projeto de reabilitação da fachada, projeto térmico e projeto acústico para devolver o edifício à nossa cidade.

Em anexo seguem vários documentos essenciais à elaboração da presente dissertação.

1.3 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo servir, de certa forma, de guia de análise das anomalias que possam ser encontradas e como proceder para a sua resolução. Toda a ação foi elaborada com base em investigação e análise da bibliografia indicada e trabalho em campo sobre variadas fachadas na cidade do Porto.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE E CARATERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DOS EDIFÍCIOS

2.1 PAREDES DAS FACHADAS

No centro histórico do Porto é frequente encontrar edifícios de fachadas estreitas, sendo a generalidade das casas construídas em banda, de arquitetura esguia. A construção era em altura e não em largura como se pode verificar na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Alinhamento e arquitetura dos edifícios nas imediações do Jardim de S. Lázaro.

Ao longo dos anos as construções sofreram continuamente modificações e atualizações de acordo com as necessidades familiares, havendo mesmo, em casos de crescimento familiar, um acréscimo de pisos, sendo executado por norma numa estrutura mais ligeira, resultando numa alteração à fachada do edifício, que nem sempre era a mais equilibrada.

A solução predominantemente adotada na época, era o piso de rés-do-chão ter ocupação de comércio e nos andares superiores, espaço destinado a habitação.

As condições de iluminação através dos envidraçados eram um pouco precárias, havendo em média por piso duas a três aberturas envidraçadas de dimensão regular, acrescidas das aberturas que davam para as pequenas varandas.

2.1.1 Composição material das paredes de fachada

De uma forma geral, as fachadas foram-se desenvolvendo e evoluindo ao longo dos anos, modificando-se os materiais constituintes, o aspeto estético e os acabamentos.

Segundo Veiga de Oliveira [16], ao longo dos tempos, até ao século XIX, houve variações, desde fachadas mais ornamentais e desenvolvidas, a fachadas mais simples e de linhas mais sóbrias, influenciadas pelas tendências e diferentes fases económicas que se atravessariam na época.

De facto, o que se verifica com o passar dos anos é que as casas se tornaram mais complexas a nível estético. O património edificado tornou-se menos minimalista no que respeita à arquitetura das fachadas.

As paredes de fachada observadas em paredes de alvenaria de pedra de granito, são geralmente constituídas por peças decorativas em cantaria, dando o contorno a portas e janelas incluindo as soleiras, parapeitos, ombreiras e lintéis, padieiras, os cunhais e frontão.



Figura 2.2 - Elementos decorativos na fachada próximo da Alfândega do Porto.

Estas paredes da fachada de uma forma geral não servem de suporte estrutural ao vigeamento entre paredes de empena, mas têm componente estrutural relativamente a ações horizontais em caso de sismo, servindo de travamento à estrutura principal.



Figura 2.3 - Corte de uma parede de fachada junto à Ponte do Infante.

Pelo seu exterior estas paredes eram, de acordo com Veiga de Oliveira [16], “Raramente com os cheios da pedra à vista, as frontarias são em geral lisas, rebocadas ou, também, do século XIX em diante, revestidas de azulejos, ora de desenhos singulares, ora formando conjunto, dispostos, nos casos mais notáveis, em painéis que imitam tapeçarias com a sua barra em torno”.

Posto isto, pode-se concluir que anteriormente à técnica mais usual do século XIX, que era revestir as fachadas a azulejo, as fachadas eram acabadas de uma forma mais primitiva sendo o seu revestimento executado apenas com o reboco de enchimento e regularização com acabamento caiado ou pintado.

Este reboco encontrado em construções mais pobres era feito segundo Vasco Freitas [15], à base somente de saibro, areia e cal.

CAPÍTULO 2

Com o passar do tempo e com o desenvolvimento de novos conhecimentos esta argamassa de acabamento foi tendo a sua composição mais refinada, sendo composta à base de cal, areia fina e pigmentos, que quando aplicada na fachada poderia ser simplesmente rebocada ou então ser-lhe aplicada uma tinta.

Já no século XX dar um acabamento de pintura à fachada tornou-se mais usual, tratando-se de tintas à base de óleo que vieram a ser bastantes utilizadas devido à fácil e rápida execução, em comparação com o acabamento a azulejo.

Segundo Vítor Coias [7] nos edifícios anteriores a 1945, as fachadas continham paredes rebocadas e pintadas ou revestidas a azulejo.

As empenas laterais cegas, tinham espessuras apreciáveis devido à disposição dos edifícios em banda. A caixilharia na sua generalidade era em madeira, com vidro simples e fraca qualidade a nível de isolamento térmico e acústico.

Em meados do século XIX, com a aplicação dos azulejos nas fachadas desenvolveu-se um impermeabilizante à base de asfalto que veio melhorar as condições de impermeabilização destas paredes, visto que, os azulejos são um material que na sua aplicação tem juntas entre as peças onde a infiltração de água e humidade é facilitada. [7]

De referir que é inquestionável o valor e padrão estéticos que os azulejos são capazes de conferir a uma fachada.



Figura 2.4 - Fachada revestida a cerâmica.

Tais como os acabamentos das fachadas foram evoluindo ao longo dos tempos, a composição interna das paredes de fachada também. Uma das principais técnicas construtivas mais usualmente encontradas na cidade do Porto, é o uso de tabique a compor estas paredes.

Esta técnica usada ainda antes do século XVII, revela-se uma metodologia de construção barata e leve que sempre foi utilizada maioritariamente nas paredes divisórias. Nas fachadas este material por ser de madeira e de fácil decomposição, era revestido de chapas, telhas ou lousas.



Figura 2.5 - Parede em tabique simples reforçado.

Nos edifícios existentes na cidade do Porto, segundo Vasco Freitas [15], há dois métodos construtivos para as paredes de tabique: paredes de tabique simples e as paredes de tabique simples reforçado. Tratam-se de dois elementos idênticos, diferindo apenas na sua forma e no número de elementos estruturais.

Existe ainda um terceiro tipo de parede de tabique, usual em construções ainda mais antigas, que são as paredes de tabique misto, sendo compostas por uma estrutura de madeira em malha quadrada com seções médias de aproximadamente 10 cm de lado.

A estrutura da parede é constituída por prumos, frechais, travessanhos e escoras, como se pode verificar na Figura 2.5, sendo posteriormente preenchidos os seus vazios com pedra miúda e/ou tijolos de pequena dimensão. Como tipo de construção, pode-se classificar como uma construção resistente, leve e económica.

As paredes de tabique simples são executadas com uma estrutura de barrotes de seção retangular, formada por elementos verticais, prumos, com espaçamentos entre si de aproximadamente 1 metro, apoiados diretamente sobre o vigamento do pavimento.

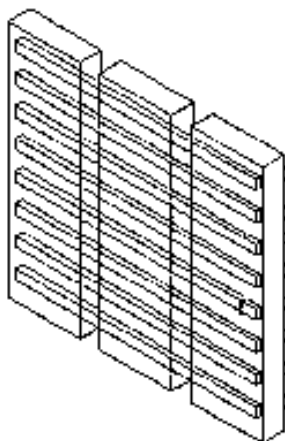


Figura 2.6 – Esquema de parede em tabique simples. [15]

Os prumos de suporte poderão ter uma disposição também na diagonal para permitir um certo contraventamento na direção perpendicular à orientação dos prumos verticais como se pode observar na Figura 2.7.

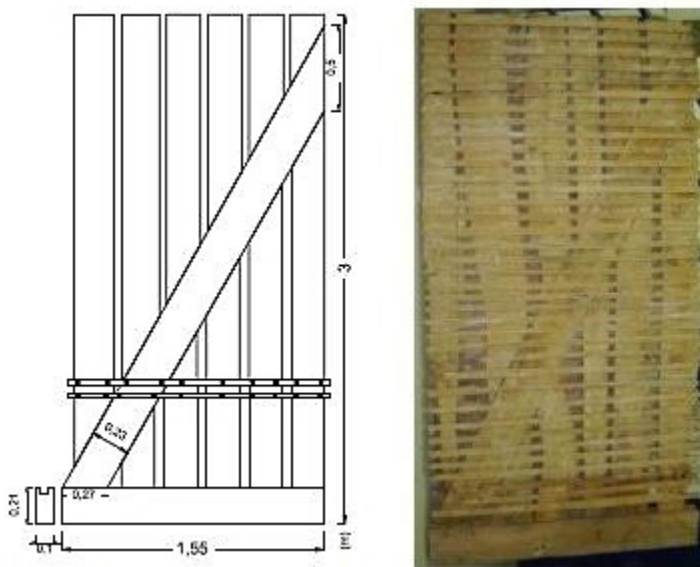


Figura 2.7 – Esquema de parede em tabique com prumo na diagonal. [14]

A compor esta estrutura, há no seu topo um frechal superior, travessanhos e vergas quando é necessário definir vãos. Estas peças são unidas por samblagens em madeira e malhetes em forma de “cauda de andorinha”.

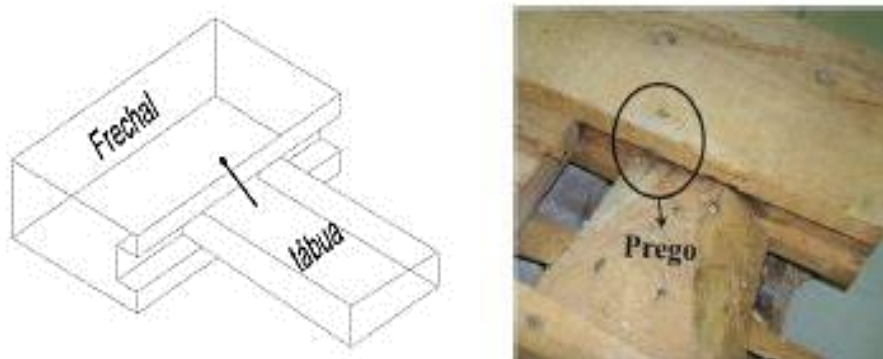


Figura 2.8 – Esquema ilustrativo da ligação do frechal à tábu. [15]

Esta estrutura de barrote é preenchida por um duplo tabuado formado por ripas de madeira com 2 centímetros de espessura, aplicadas na vertical ou na diagonal. Sobre estas ripas de madeira é pregado um fasquiado de madeira pelo interior, para que seja possível haver aderência por parte do reboco, e um ripado pelo exterior, para apoio dos revestimentos exteriores, como por exemplo, chapa ondulada.

Devido à elevada permeabilidade do reboco, não tornando a fachada estanque à entrada de água é raro encontrar-se reboco pelo exterior, visto que exigia outros cuidados no acabamento da fachada.

Nas paredes de tabique simples reforçado, tudo se processa da mesma forma à exceção do seu interior ser preenchido com restos de madeira e cortiça.

A nível exterior é onde se verificam as maiores evoluções nas técnicas construtivas de revestimentos, visto que, os agentes exteriores, tais como, a humidade proveniente da precipitação e agentes corrosivos do meio envolvente, requerem grande cuidado e tratamento.

Nas construções mais antigas, séc. XVIII, o revestimento mais frequentemente utilizado era o reboco com um acabamento areado/estucado possivelmente pintado.

Este tipo de acabamento era aplicado nas paredes de tabique misto, havendo um contra neste acabamento, que era a elevada permeabilidade que possuía.

Com o decorrer dos anos, novas metodologias surgiram e começaram a surgir as paredes de tabique simples e paredes de tabique simples reforçado, onde também foram surgindo novas técnicas de impermeabilização e de isolamento e a mais utilizada foi o azulejo, amplamente observado na globalidade dos edifícios antigos do Porto.



Figura 2.9 – Edifícios com acabamento em azulejo.

A fixação dos azulejos nas fachadas também era no início um pouco primária, sendo realizada através de cal o que posteriormente resultava no descolamento destas peças da fachada.



Figura 2.10 - Descolamento dos azulejos da parede.

Esta aplicação deveria ser antecedida de uma boa regularização das paredes de fachada, através de um reboco em argamassa de cal e saibro onde seria assente o azulejo.



Figura 2.11 - Foto detalhada das argamassas de ligação do azulejo à fachada e consecutiva desagregação da argamassa.

Como se pode observar na figura acima apresentada, a desagregação das argamassas de assentamento em relação à argamassa da alvenaria principal está bem presente, o que com o decorrer do tempo irá provocar a descolagem dos painéis de azulejo originando a sua queda, pondo em perigo a segurança dos transeuntes e possibilita a sua quebra, tratando-se de produtos raros que já não se encontram sequer em produção e permite a permeabilidade à humidade.

2.2 JANELAS

As janelas, designadas tecnicamente por envidraçados, são de extrema importância nos edifícios antigos, permitindo a entrada de luz natural e respetiva ventilação dos compartimentos.

Como será de esperar, os envidraçados e caixilharias a nível térmico e acústico possuíam uma reduzida capacidade funcional, sendo que, numa reabilitação adequada terá de se estudar uma solução conservadora e que mantenha os elementos originais, nunca descurando o cumprimento dos regulamentos em vigor. Este estudo de soluções será mais à frente abordado e analisado. As janelas possuem variadas formas, arquiteturas e esquemas de abertura.

Na cidade do Porto como forma sucinta, podem ser agrupados em dois grupos [15]:

- Janelas de peito de guilhotina;
- Janelas de peito e de sacada de batente.



a)



b)

Figura 2.12 – Tipo de janelas; a) Janela de peito de batente; b) Janela de peito de guilhotina.

2.2.1 Janelas de peito e de sacada de batente

As janelas de sacada de batente, já são envidraçados de maior dimensão localizados nos pisos superiores e que permitem o acesso ao utilizador às pequenas varandas de sacada existentes nos edifícios.

Tratam-se, portanto, de janelas com maior dimensão, exigindo uma maior atenção à devida impermeabilização garantindo o mínimo conforto e salubridade do espaço interior.

As janelas de peito, tal como o próprio nome indica, tratam-se de janelas a cerca de meia altura da parede de dimensões similares, ou superiores às janelas de guilhotina, diferindo apenas no seu modo de abertura e funcionamento.

Entre as janelas de peito e as de sacada de batente, a diferença, além das suas dimensões, a nível de ornamentação as de batente permitiam ser ornamentadas com almofadas na sua caixilharia e na parte superior são acabados com um caixilho fixo por norma tendo acoplado um vidro, permitindo maior entrada de luz. Os caixilhos móveis que permitem a abertura destas janelas são compostos por uma esquadria e travessas.

Na zona inferior dos caixilhos encontram-se vedações de mastique e pingadeiras, permitindo controlar e evitar a entrada de água. Em toda a sua altura, num dos caixilhos móveis, há um elemento de madeira que serve de batente e confere união, e consecutivamente estanquidade à janela.

Em torno destas janelas frequentemente há elementos decorativos de pedra, ombreiras e padieiras, sendo estes o local de fixação das dobradiças através de chumbadouros.

Estes chumbadouros eram colocados pelo exterior dos envidraçados, obrigando à colocação de um aro a servir também de acabamento e de batente às extremidades das duas folhas de janela.

Tratam-se de janelas com uma variedade enorme de ornamentações e feitios possível, tudo dependendo da capacidade financeira e opções do proprietário.

É sabido que estas caixilharias, a nível de impermeabilidade à chuva, funcionavam mal, portanto para a questão da impermeabilidade à chuva a solução passava por uma pintura com uma prévia preparação das peças de madeira com o devido tapamento das juntas.

A pintura devia ser executada com os devidos cuidados, dado que havendo anomalias, a entrada de água é favorecida, originando diversos problemas na estrutura de madeira da janela.

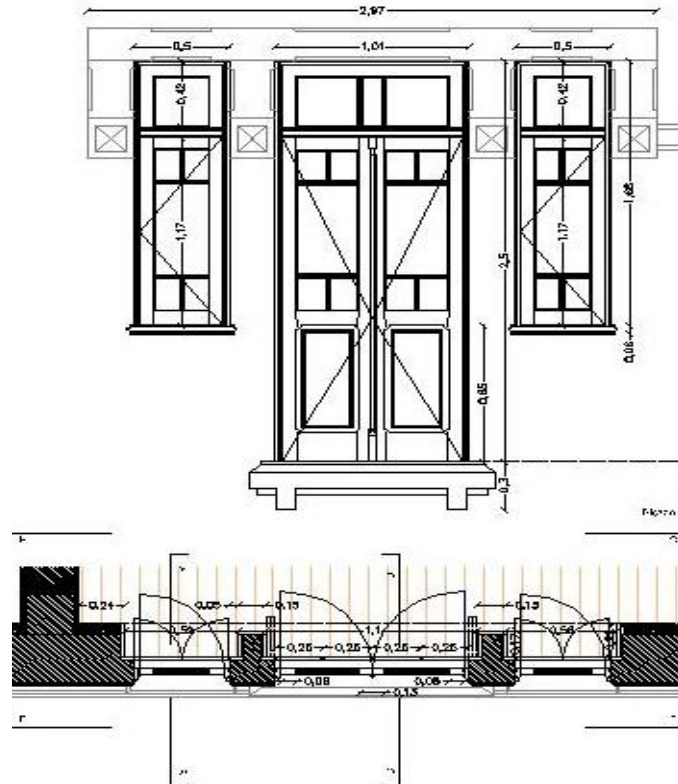


Figura 2.13 - Plano de pormenor de um envidraçado antigo. [5]

2.3 PORTAS

Estas são os principais elementos de segurança de uma habitação. Ainda mais importantes se tornam quando as portas estão ao nível da rua sem nenhuma proteção secundária, por exemplo um portão.

A manutenção e tamanho das portas variava de acordo com o tipo de edifício a instalar, desde um simples edifício habitacional a um palacete ou até mesmo monumentos classificados.

Segundo Vasco Freitas [15], “Muitas das casas velhas do Porto conservam as suas portas primitivas, de uma só folha, muito largas e pesadas, com numerosas e grossas almofadas quadrangulares, dispostas regular e harmoniosamente em simetria, e girando em fortes gonzos, (...), essa porta prolonga-se para cima numa ampla bandeira envidraçada e também gradeada, para iluminação do átrio e escada.”



Figura 2.14 - Porta em mau estado de conservação, encimada com bandeira em vidro e vidros na zona das folhas da porta.



Figura 2.15 – Porta em mau estado de conservação, encimada com bandeira em vidro com almofadas de madeira.

Uma breve nota para a tipologia das portas executadas, refere que até ao século XIX se executavam portas de uma folha sem bandeira, e durante o século XIX as portas passaram a ser de duas folhas encimadas por bandeira, constituída por um vidro dando mais iluminação à zona da entrada.

Estrutura e funcionamento

Naturalmente como as janelas, as portas também possuem diversos componentes, tais como, as almofadas com saliência, couceiras, respigas (peças de encaixe entre elementos), mecha e palheta. A fixação das portas era feita através da própria esquadria da porta e dos seus batentes.

Logicamente as portas foram sofrendo alterações ao longo dos anos, no entanto a nível de acabamento mantiveram-se com acabamento final de pintura.

As juntas após estarem devidamente betumadas e acabadas, procede-se à pintura da porta, tendo como principais funções preservar e garantir a estanquidade das madeiras, contribuindo também para o embelezamento da porta.

As bandeiras com que as portas eram encimadas possuíam um vidro, já anteriormente referido, tratando-se de um vidro simples de espessura reduzida fixado através de pequenos pregos e posteriormente executada a sua devida vedação e isolamento.

As portas eram pintadas e de seguida protegidas com uma camada de verniz, sendo que segundo Vasco Freitas dava-se preferência a tons escuros como, o verde, vermelho, azul, castanho ou preto.



Figura 2.16 – Exemplos de diversas portas de entrada.

A integrar a porta há mais alguns elementos de extrema importância, nomeadamente os puxadores, as caixas de correio, as ferragens e os batentes.

As ferragens, por outras palavras, as dobradiças eram um pouco artesanais com fixações reforçadas, devido ao peso das portas de madeira maciça.

Estas peças eram cravadas nas cantarias das portas através de chumbo. Ao longo dos anos as técnicas de fixação foram sendo aperfeiçoadas tornando-se mais leves e resistentes.

Tal como os restantes elementos, os puxadores e batentes de portas eram estilizados ao gosto e possibilidades de cada proprietário, sendo segundo Veiga de Oliveira [15], “como batentes vemos, em modelos mais antigos, a argola e os lagartos ou outros animais estilizados, de feição pitoresca e rústica; no século XIX, difunde-se a aldraba, a mão fechada ou a máscara feminina, de feição industrial.”



Figura 2.17 - Exemplos de portas de entrada em madeira.

As portas de entrada, ao fim de poucos anos, se não fossem alvo de uma manutenção periódica e cuidada na zona junto à soleira começavam a mostrar sintomas de deterioração das madeiras, devido à água da precipitação.

Também na zona das juntas das diversas peças, devido às variações de temperatura, rapidamente estas juntas se mostravam de dimensão apreciável o que permitia maior facilidade nas infiltrações.

2.4 VARANDAS DE SACADA

As varandas eram instaladas no decorrer da construção, sendo executadas com grandes elementos de blocos de pedra equilibradas em consola pela fachada.

Estas varandas eram de pequenas dimensões, devido à ausência de técnicas construtivas de vencer vãos em consola de grandes dimensões, permitindo ao morador ter contato com o exterior, dando de igual forma maior salubridade à habitação e maior dinâmica a uma fachada.



Figura 2.18 - Varanda de sacada em edifício debilitado.

Estas varandas encontram-se apoiadas na estrutura resistente da parede de fachada, de forma a manter o equilíbrio estrutural e assegurar que podia ser utilizado pelos moradores.

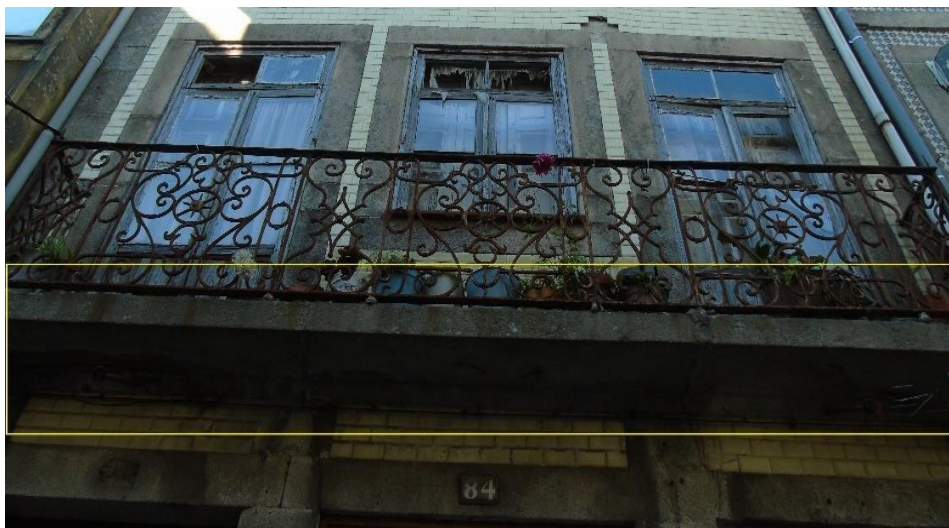


Figura 2.19 - Pormenor de ligação da varanda com a estrutura da fachada principal.

2.5 GUARDAS

As varandas tinham no seu bordo exterior as guardas, com o fim de evitar a queda dos seus utilizadores.

Inicialmente, estas guardas de sacada eram executadas em madeira e posteriormente passou-se a produzir em ferro forjado com muito maior estabilidade, durabilidade e segurança.

Ao serem em ferro forjado, todos os elementos eram forjados para serem decorativos e embelezar uma fachada.



Figura 2.20 – Guarda metálica de varanda.



Figura 2.21 – Varanda com guarda metálica e zona em marquise.

2.6 PORTADAS INTERIORES

As portadas são elementos de oclusão noturna e de proteção e segurança contra intrusão. Executadas de forma semelhante às janelas, podem dividir-se num determinado número de folhas, dependendo do tipo e área de cada janela, tendo que ser garantido que na altura da sua abertura, as portadas fiquem integradas nas ombreiras da cantaria.



Figura 2.22 – Portadas interiores nos envidraçados.



Figura 2.23 – Portadas de três folhas interiores.

2.7 DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

A recolha das águas pluviais, provenientes da cobertura, é de extrema importância, sendo realizada através de tubos de queda fixos às paredes de fachada, razão pela qual também se aborda este elemento neste trabalho. Estes tubos de queda, realizados preferencialmente em ferro fundido, mas também em ferro zincado ou zinco, asseguravam o encaminhamento das águas pluviais desde as caleiras ou algerozes, (para onde a água é encaminhada através das telhas), até ao nível do solo para posterior drenagem [15].



a)



b)

Figura 2.24 – Tubos de queda; a) tubo em pvc; b) tubo em ferro fundido.

CAPÍTULO 3

INSPEÇÃO, ANÁLISE DE ANOMALIAS E DIAGNÓSTICO

Primordialmente a uma reabilitação de um determinado edifício, há que proceder a uma inspeção, análise e respetivo diagnóstico do seu estado de conservação e quais as anomalias presentes. A elaboração desta prévia análise pressupõe a definição correta para o fim e o uso pretendido do edifício em questão para melhor definir estratégias de reabilitação.

É certo que cada edifício possui uma particularidade ou parâmetros de construção diferentes de outro qualquer edifício. Estabelecer determinados fatores ou relações para o surgimento de certas anomalias, trata-se de uma tarefa um pouco subjetiva, devendo, portanto, ser feita uma análise individual e única a cada edifício alvo de futuros trabalhos de reabilitação.

João Appleton, Vítor Córias, Vasco Freitas e outros nomes da Engenharia Civil desenvolveram um grande trabalho nesta área das anomalias, e posteriores soluções, que servirá de referência para o desenvolvimento deste capítulo.

Uma análise ao edifício deverá consistir numa visita ao edifício, deve-se tentar reunir todos os projetos das especialidades da época e de mais importância, ter acesso aos registos das possíveis alterações elaboradas no edifício.

Segundo Vítor Córias [7], após a execução desta análise preliminar, deverão resultar recomendações para um eventual exame pormenorizado posterior, e também, se aplicável, recomendações de segurança que se considerem justificáveis.

Ao longo dos anos, em geral, são feitas diversas intervenções nos edifícios, umas de melhor outras de pior qualidade. Com o decorrer da evolução das cidades, muito do edificado já existente foi sendo alterado e adaptado às novas ideias e necessidades dos habitantes, sem que se olhasse a meios ou etapas de intervenção para o fazer. Posto isto, é de esperar com toda a certeza que o número de anomalias, que possam surgir, aumente exponencialmente ao longo dos anos de vida útil dos edifícios.

Quando encontramos problemas mais complicados que possam englobar a estabilidade da fachada, assim como do equilíbrio de todo o edifício, deve-se realizar uma investigação mais pormenorizada com ensaios no local e recolher amostras para laboratório.

Os resultados do laboratório irão condicionar as conseqüentes soluções a dar a nível de correção e eliminação das anomalias.

3.1 ELABORAÇÃO DE DIAGNÓSTICO

Perante um edifício degradado, inutilizado e antigo, é necessário elaborar um diagnóstico após uma inspeção rigorosa. O diagnóstico ou inspeção primeiramente elaborado de forma visual deverá ser o mais rigoroso possível, registando toda a composição e materiais utilizados no edifício.

Este estudo fica mais facilitado, se houver notas históricas do edifício em questão, o que nem sempre é possível aos técnicos terem acesso. Um técnico, para estar na sua capacidade máxima com o objetivo de elaborar um registo rigoroso e coerente, deverá possuir um vasto conhecimento das técnicas construtivas utilizadas na época, assim como a generalidade dos materiais usados frequentemente então.

Segundo Vítor Córias [7], os aspetos mais importantes a ter em conta na inspeção de um imóvel são os seguintes, indicados na tabela abaixo.

Tabela 3.1 – Resumo dos aspetos a ter em conta na inspeção de um edifício. [7]

Parte do Edifício	Aspetos a ter em conta
Envolvente (local de implantação)	Terreno de fundação Acessos e arranjos exteriores Infraestrutura local
Envelope ou Fachadas do edifício	Paredes Guarnecimento dos vãos
Estrutura	Fundações e elementos estruturais
Interiores	Pavimentos e tetos Paredes interiores

Para auxiliar o diagnóstico recorre-se a campanhas de prospeções que devidamente localizadas e focadas num elemento construtivo (pavimento, argamassas, constituição interior de parede, entre outros), que irá enriquecer a exatidão do diagnóstico. De salientar que para Vítor Córias o termo “envelope” refere-se ao conjunto de paredes exteriores, envidraçados e cobertura. Dada a importância deste autor na área das inspeções, é de facto importante salientar esta originalidade.

É de esperar que após a elaboração deste diagnóstico as anomalias sejam corrigidas, sendo as respetivas soluções executadas de acordo com o projeto de intervenção.

Registadas todas as anomalias pode-se pressupor que o trabalho de campo e investigação que antecede uma intervenção foi válido.

As anomalias que ao longo dos anos foram surgindo e são agora detetadas e corrigidas, têm várias causas, como por exemplo origem em erros humanos, tais como [7]:

a) Fase de conceção (projeto):

- Ausência de conhecimento científico para elaboração de projeto;
- Má conceção;
- Escolha errada na quantificação das ações;
- Escolha errada de métodos de execução.

b) Fase de execução:

- Mão-de-obra não qualificada;
- Alterações erradas ao projeto inicial;
- Utilização de fracos materiais;
- Ausência de fiscalização.

c) Fase de habitabilidade:

- Diferente utilização do edifício em relação ao previsto, levando a incrementos das ações atuantes;
- Ausência de manutenção;
- Renovações mal estudadas desenquadradas da fisionomia original do imóvel;
- Desgaste e degradação anormal dos materiais e componentes.

Pode-se verificar com estes diversos fatores, que são apenas alguns de entre inúmeras causas para surgirem anomalias. A ausência de manutenção subscreve-se como sendo a maior e principal justificação para a maioria das anomalias.

Esta manutenção deverá ser periódica e realizada, garantindo a compatibilidade dos materiais reparadores com os materiais originais, caso contrário irá desencadear consequências negativas agravadas pela propagação das mesmas.

Porém, nem todas as anomalias advêm de erros ou falhas humanas, como também pode resultar de ações naturais e desastres naturais.

Ações naturais

a) Nas **ações biológicas** relaciona-se tudo o que envolva natureza vegetal e animal, tais como, raízes, bolores, musgos, líquenes e fungos, assim como, insetos, roedores e dejetos animais.



Figura 3.1 - Ocorrência de uma ação biológica em fachada, provocando separação da união entre os azulejos e as cantarias em torno da janela de guilhotina.

b) Nas **ações químicas** relaciona-se com a chuva ácida, reações eletroquímicas, a própria radiação solar (raios UV), a oxidação das peças metálicas e a carbonatação.



Figura 3.2 - Oxidação das chapas de revestimento da fachada de tardoz.

Como se pode verificar na fotografia acima indicada, a oxidação irá, ao longo do tempo, provocar a corrosão total destas chapas de revestimento, o que irá originar, conseqüentemente, infiltração de águas provenientes da precipitação. Estas águas irão gerar humidades, aparecimento de bolores e fungos no interior da habitação.

- c) Nas **ações naturais**, inclui-se as que se consideram em parte correntes e que no dia-a-dia do edifício estão constantemente a atuar, tais como, a radiação solar, o vento, a presença de água, as drásticas variações de temperatura e alterações do solo.

Os desastres naturais são ocorrências não previsíveis que podem variar em intensidade, local e forma. Podem incluir desde tempestades, cheias, deslizamento de terras, até a um sismo ou tsunami. São ocorrências que podem levar à destruição parcial ou, em casos mais graves, à destruição total dos edifícios, em que a única solução passa pela sua reconstrução.

Outra forma de desastre poderá ser uma situação não associada a manifestações da Natureza, mas sim de ocorrências que poderão ter responsabilidade humana, como por exemplo, um incêndio, uma inundação, ou um embate contra o edifício.

As anomalias poderão encontrar-se em todos os elementos de uma fachada, mas também na estrutura interna e resistente do edifício em estudo. Para o caso presente, importa realçar e descrever as anomalias nas fachadas dos edifícios.

3.2 ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DAS ANOMALIAS

3.2.1 Anomalias em alvenarias de pedra (paredes exteriores)

As anomalias mais frequentemente encontradas são causadas por fatores climáticos que, com o passar dos anos, torna inevitável notar-se os seus efeitos no edificado.

As variações climáticas provocam tensões nas argamassas, que por consequência originam fissuras que permitem a infiltração de água, voltando a originar novas fissuras. Uma anomalia, uma vez existente, se não for devidamente detetada e solucionada, em regra, irá originar um ciclo de anomalias decorrentes do incidente inicial.

O arrefecimento noturno e o aquecimento diurno constante, origina expansões e contrações térmicas nos materiais de construção, criando tensões nas ligações entre elementos. As fachadas orientadas a Sul são as mais afetadas pela radiação solar e pela intensa precipitação, pelo que requerem uma maior atenção na sua execução, respetiva impermeabilização e conservação.

Um possível assentamento das fundações, algo que poderá acontecer na cidade do Porto, também irá criar tensões internas nas argamassas da fachada, criando fissuras, que irão levar à infiltração de humidades para o interior dos edifícios. As paredes de fachada dos edifícios antigos do Porto eram na sua globalidade executadas em alvenaria e tabique em soluções mais aligeiradas.

No entanto, em construções muito pobres e de pequena envergadura, usava-se o tabique como material para a fachada. Estas paredes tornavam-se muito propícias a serem portadoras de diversas anomalias. Uma parede funciona essencialmente à compressão, tendo uma pequena capacidade resistente a esforços de flexão [13].

Ora a madeira do tabique, sendo sujeita a este tipo de esforços, irá criar fissurações indesejadas, derivando em apodrecimento das madeiras proveniente da água das chuvas, que se infiltra tanto pelas fissuras, como também, segundo João Appleton [1], por capilaridade através da humidade proveniente do solo, afetando elementos estruturais das paredes e do pavimento térreo.



Figura 3.3 - Parede de fachada com o tabique exposto, permitindo infiltrações em grande escala para o interior.

Nas paredes resistentes, como seria de esperar, eram utilizadas alvenarias de granito para dar suporte à estrutura portante de coberturas e pisos, além do seu peso próprio. Na cidade do Porto esta solução construtiva encontra-se em edifícios muito pobres e de fraca qualidade.



Figura 3.4 - Corte de uma parede principal em alvenaria onde estaria fixada uma portada.

As paredes de alvenaria, por norma, de acordo com o crescimento em altura da construção, diminuía de espessura nos pisos superiores, com o intuito de dar mais leveza à construção. Nos intervalos entre pedras não havia ligantes específicos, como os que dispomos atualmente. As pedras eram assentes com um ligante à base de cal, que preenchia os vazios interiores.

Em casos mais pobres, até esta argamassa era substituída por terra argilosa, para formar um conjunto compacto. Era de todo o interesse que as argamassas utilizadas fossem de boa qualidade, dado que a argamassa servia de apoio aos assentamentos entre pedras da alvenaria e, assim, era determinante para as tensões serem distribuídas entre pedras.

Nestas paredes de alvenaria as anomalias mais correntes e possíveis de acontecer são as fissurações e a desagregação entre elementos e por vezes, também é possível observar esmagamentos localizados.

As paredes existentes no Porto são de paramento simples, tratando-se de paredes com espessuras na ordem de 40 a 60 centímetros.

Tratam-se, portanto, de paredes, onde as diversas pedras de alvenaria teriam de assentar numa boa base de argamassa, caso contrário a possibilidade de surgirem anomalias era tanto maior, quanto pior fosse a qualidade das paredes e da sua execução.

Quanto à construção destas paredes, eram feitas com alinhamentos de juntas irregulares, ou seja, as pedras eram dispostas de forma irregular sem uma continuidade de alinhamento entre elas, apresentando dimensões semelhantes entre pedras.



Figura 3.5 - Parede de alvenaria com juntas irregulares, sem argamassa a servir de revestimento.

A zona de parede envolvente das aberturas nas fachadas é propícia a anomalias. Na Figura 3.6, verificam-se fissurações nas zonas próximas aos vãos, em torno das cantarias, peças de elevada resistência estrutural.



Figura 3.6 - Presença de fissuras junto da zona envolvente entre envidraçados / portas.

Estas anomalias não surgem só na sequência de aberturas nas paredes, mas também de extremas variações térmicas que possam ter sucedido, de pregagens na parede, em ferro forjado, que terão sofrido com as variações térmicas, oxidando, afetando diretamente a integridade da alvenaria de pedra e causando a sua expansão.

Tal como todos os elementos de uma estrutura, as paredes de alvenaria de pedra também têm uma determinada resistência, que ao ser ultrapassada pelas tensões de compressão atuantes, poderá causar abaulamentos da parede [2].

A humidade é dos fatores mais condicionantes do bom comportamento da parede, provocando deterioração das argamassas, e de seguida, provocando a separação dos elementos ou desagregação.



Figura 3.7 - Desagregação das argamassas devido à presença da humidade.

Ao longo dos anos, a técnica construtiva de utilizar pedra para executar as paredes de fachada e paredes estruturais manteve-se inalterada, havendo uma inúmera quantidade de edifícios do Porto com anomalias na matéria interna das paredes, muito devido à falta de conhecimento da pouca elasticidade da pedra quanto à distribuição dos esforços e à fraca qualidade das argamassas.

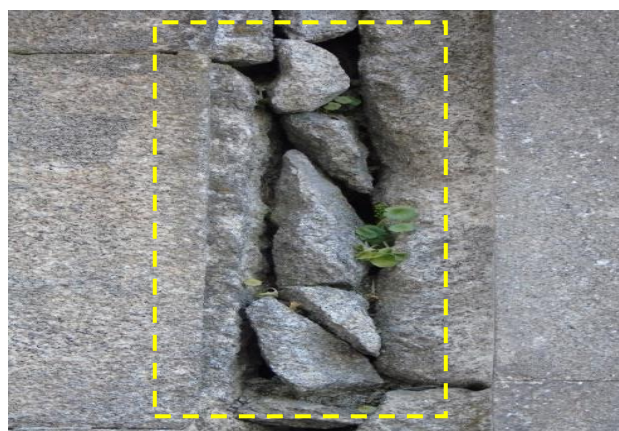


Figura 3.8 - Fissura de grande expressão numa fachada, colmatada com algumas pequenas pedras.

Como se pode verificar na Figura 3.8, as soluções praticadas, por vezes, muito arcaicas, potenciaram o aparecimento de anomalias em todos os elementos de fachada de um edifício. Neste caso, esta fissura de elevada dimensão facilita a penetração de água da chuva, ações exteriores de erosão e elementos biológicos.

3.2.2 Anomalias em cantarias (paredes exteriores)

As paredes da fachada frontal eram normalmente revestidas a azulejos ou rebocadas e, posteriormente pintadas, apresentando elementos de realce em granito, em torno de envidraçados e portas. Estas peças de cantaria são fundamentais na prática de uma boa construção, dado que possuem características resistentes muito elevadas, contribuindo para maior rigidez de um edifício, aliada à melhoria estética, dado que podiam ser ornamentadas com diversas formas e saliências.



Figura 3.9 - Ornamentação nas cantarias, contribuindo para uma estética extremamente nobre.

As peças de cantaria conseguem resistir às ações biológicas, não sofrendo tanta deterioração como uma pedra corrente. Isso verifica-se no momento de uma observação e inspeção a um edifício, ou seja, as peças de cantaria são as que apresentam um melhor estado de conservação, necessitando muitas vezes apenas de uma lavagem adequada para retomarem a sua aparência original.

No entanto, estes elementos não se encontram livres de anomalias, sofrendo também com o passar dos anos diversas irregularidades, tais como a sujidade, o desgaste natural da pedra, o aparecimento de eflorescências e a fendilhação e também a presença de grafitis.

A sujidade encontra-se presente em quase todos estes elementos, na cidade, devido ao excesso de poluição produzida pelos automóveis, originando a criação de elementos de carbono que poderão, a longo prazo, causar degradações da pedra, perdendo a textura e o formato original.



Figura 3.10 - Presença de sujidade e fungos nas peças de cantaria.

Como se pode observar na Figura 3.10, o aparecimento de eflorescências também pode ocorrer, sendo devido à fraca incidência solar, o que faz com que a pedra esteja sempre na presença de humidade, que embora pouco porosa, poderá contribuir para uma desagregação, sob a forma de areia ou pó, mais acelerada. São elementos de destaque numa fachada, dando realce aos vãos nas fachadas e onde se integram servem de apoio às ferragens das caixilharias onde é importante a integridade da pedra estar imaculada. Outro tipo de elementos de cantarias presentes, são as cornijas dos edifícios. Elas dão forma e nobreza aos beirais, na concordância entre a parede de fachada e a cobertura, como se pode verificar no edifício da Figura 3.11.



Figura 3.11 - Exemplo de cornija num edifício.

Neste edifício, verifica-se que a cornija está em excelentes condições, visto já ter sofrido diversas intervenções de reabilitação.

Contudo, estas pedras tais como as de cantaria também sofrem das mesmas anomalias. Poderão sofrer sujidade, fissurações e o próprio desgaste dos elementos.



Figura 3.12 - Cornijas com sujidade, manchas e algumas fissurações.

3.3 ANOMALIAS EM ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS

3.3.1 Fatores que originam a humidade nos edifícios

A humidade tem como principais tipos, conforme os locais de manifestação e a sua origem, a humidade de construção, humidade de precipitação, humidade devida à higroscopicidade dos materiais, humidade do solo de fundação e humidade de condensação. Todas estas manifestações serão explicadas e desenvolvidas a seguir [16].

a) Humidade de construção

No decorrer das obras de um edifício, é perfeitamente vulgar haver humidade de construção, visto que grande parte dos materiais utilizados contêm água na sua composição.

Esta água, estando os materiais constituintes de um edifício adjacentes entre si, tem dificuldade em ser totalmente eliminada.

Outro fator preponderante é a água das chuvas, que surge enquanto o edifício se encontra exposto a intempéries, sem qualquer tipo de proteção, por exemplo com a cobertura e os envidraçados por instalar.

Esta humidade tem um certo período em que se encontra oculta. Porém, ao fim de um determinado tempo, quando não se consegue dissipar, a humidade faz-se notar nos revestimentos interiores e exteriores.

Uma forma de evitar que esta situação ocorra, é ter sempre em atenção a compatibilidade entre materiais e assegurar que é dado o tempo de secagem necessário aos materiais que irão ser sobrepostos pelos revestimentos exteriores.

b) Humidade de precipitação

A água da precipitação, ao surgir, consegue penetrar nos poros dos revestimentos (argamassas e juntas de azulejos), nos vãos de madeira do exterior e até mesmo pelas coberturas, caso haja alguma infiltração.

Quando ocorre esta situação, os materiais existentes irão ficar humedecidos, e se for durante a estação de Inverno, estes materiais ficam expostos a uma humidade constante, o que irá levar ao seu desgaste prematuro e ao surgimento de eflorescências e até mesmo manchas de humidade.

Para evitar que isto ocorra, é necessário dar o devido tratamento de impermeabilidade aos materiais porosos, como a madeira dos vãos, e tornar a fachada o mais estanque possível. Note-se que a aplicação de betuminoso nas fachadas, em geral dava maus resultados, devido à perda de aderência entre camadas de rebocos, como se vê na Figura 3.13.



Figura 3.13 - Exemplo de betuminoso exposto, que se aplicava, por vezes (como se observa) com duvidosos resultados, para melhorar a impermeabilização de uma fachada revestida a azulejo.

c) Humidade devida à higroscopicidade dos materiais

A higroscopicidade de um material é, por definição, segundo o dicionário da língua Portuguesa: “Higroscopia é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água”. Posto isto, pode concluir-se que dependendo do material e das condições de humidade de um local, irá determinar o estado mais ou menos acelerado de degradação do imóvel. Cada material tem as suas capacidades intrínsecas associadas à absorção de água, podendo resistir melhor ou pior à ação da humidade.

Por exemplo, as ombreiras e vãos em madeira com esquadrias, que compõem as casas do Porto, teriam de ser protegidas com materiais impermeáveis e tratadas constantemente com camadas de verniz ou tinta, para conferir mais durabilidade às peças de madeira.

d) Humidade do solo de fundação (humidade ascendente) [16]:

O solo de fundação de uma estrutura deverá ser obrigatoriamente consolidado, mas também devidamente drenado (situação que na época antiga da cidade não existia).

Deveria ser realizado um “corte hídrico”, para que a humidade do solo não ascenda por capilaridade no interior de paredes e rebocos.

Esta humidade por capilaridade e porosidade dos materiais que constituem as paredes irá aumentando, tornando-se, no caso das paredes, uma humidade ascensional, que irá causar diversas anomalias nos revestimentos e, em casos mais graves, afetando também a integridade das argamassas presentes nas juntas de assentamento entre as pedras da alvenaria, e também na madeira que compõe o fasquio das paredes mais aligeiradas, causando nesta última situação o apodrecimento da madeira e origina a proliferação e criação de insetos indesejados que habitam e se alimentam da madeira danificada.

Uma das soluções adotadas para prevenir este problema, era criar um espaço ventilado sob o rés do chão, entre este e o solo, normalmente não revestido para melhor se libertar da humidade. A ventilação deste espaço deveria ser assegurada por gateiras de ventilação cruzada na fachada para permitir a circulação do ar.

e) Humidade de condensação

Trata-se de uma humidade resultante da condensação do vapor de água atmosférico, nas superfícies expostas ao ar, ou no interior de elementos de construção.

Esta humidade tem mais tendência a surgir nas pontes térmicas ou em paramentos frios, ou em alterações climáticas muito bruscas. Esta anomalia manifesta-se visivelmente através de manchas e eflorescências, principalmente nos paramentos estucados.

3.3.2 Anomalias nos revestimentos

As anomalias poderão surgir no mais ínfimo elemento de um edifício. Claro está, que os elementos não estruturais também possuem anomalias, que poderão ser a causa de defeitos nos elementos estruturais, como já foi anteriormente descrito.

Ao proceder-se à observação e à avaliação das diversas anomalias de uma fachada, nos elementos de revestimento, pode-se afirmar que a maioria se deve a questões relacionadas com a presença de água, originando os mais diversos tipos de manifestação de humidade.

Estes problemas relacionados com a presença de humidade provocam a gradual degradação de um edifício, afetando as suas boas condições de habitabilidade e segurança, podendo mesmo tornar-se irreparável certas anomalias, se não forem corrigidas atempadamente.

Uma das maiores causas de infiltrações de água é a penetração através das coberturas, ou porque se encontram mal executadas ou em mau estado de conservação. Estas infiltrações irão ‘percorrer’ o volume do edifício, até que se façam notar nos revestimentos, paredes estruturais, pavimentos, entre outros [16].



Figura 3.14 - Fachada totalmente degradada devido à presença de humidade proveniente de anomalias na cobertura.

Como se verifica na Figura 3.14, a fachada apresenta manchas de cor escura, onde evidencia a maior concentração de humidade. Demonstra também que se está perante infiltrações provenientes de águas que ao infiltrar-se transportam sujidade, criando sais que irão possibilitar, ao longo do tempo, eflorescências, acelerando o processo de degradação dos rebocos, assim como as argamassas de fixação dos azulejos. No caso da pintura, que ocorre na imagem indicada, irá originar descolamento das argamassas e da tinta, perdendo a fachada todas as características de impermeabilidade às intempéries, que originalmente deveria ter.



Figura 3.15 - Presença de humidade que causou desagregação da argamassa de revestimento e posterior queda.



Figura 3.16 - Abertura na argamassa de revestimento que possibilita a penetração de água e consequente empolamento do reboco.

Havendo assentamentos diferenciais no edifício, devido a anomalias nas fundações, haverá por consequência fendilhações que, sendo de uma dimensão apreciável, irão facilitar a entrada de água, que irá infiltrar-se na zona interior, entre o revestimento exterior e a argamassa de reboco, acontecendo o que se pode observar nas Figuras 3.15 e 3.16.

A conservação e manutenção de uma fachada deverá ser assegurada sempre com aplicação de materiais compatíveis com os materiais de origem da construção, senão irá prejudicar ainda mais o estado de conservação em que se encontra. Um exemplo muito frequente é a aplicação de argamassas modernas, sobrepostas nas argamassas antigas originais da construção, gerando descolamento das argamassas e maior desagregação entre as partículas constituintes.

A humidade que se forma no interior das habitações, devido às condensações produzidas pelo vapor de água através dos seus utilizadores e das suas atividades correntes diárias, ao ser absorvida pelas argamassas das paredes pode originar a formação de fungos e manchas de humidade bastante visíveis.

Esta humidade absorvida poderá exteriorizar-se através de condução, entre os elementos de uma parede, provocando os efeitos anteriormente descritos. Esta humidade “interior” poderá ser evitada através de

uma correta ventilação do espaço interior, o que nem sempre seria assegurado nos edifícios antigos devido às poucas e pequenas aberturas que possuíam para o exterior.

Nas fachadas de tardoiz ocorrem mais anomalias, devido à sua construção mais ligeira, nos edifícios correntes. Apenas nos edifícios mais burgueses a construção da fachada principal e de tardoiz era executada da mesma forma e com os mesmos materiais de elevada qualidade. As fachadas de tardoiz ao serem mais ligeiras, mais suscetíveis a anomalias, eram frequentemente do tipo que se pode verificar na Figura 3.17.



Figura 3.17 - Fachada de tardoiz com bastante oxidação nas chapas de revestimento.

Como se pode verificar na imagem, a solução de revestimento da fachada foi executada em chapa ondulada de ferro, o que traz graves problemas de oxidação se não for devidamente protegida contra os fatores externos (água da chuva, poluição, entre outros).

Muitas vezes, por baixo desta chapa ondulada de revestimento, a alvenaria de pedra ou a alvenaria de tabique encontra-se à vista, sem qualquer argamassa de regularização ou acabamento, por questões visivelmente económicas.

Devido a este facto, as chapas, uma vez oxidadas e corroídas, irão deixar penetrar as águas das chuvas na alvenaria de pedra, acelerando o seu processo de desagregação das partículas, afetando a integridade estrutural do edifício.

3.3.3 Anomalias nas caixilharias

Como já foi descrito anteriormente nos edifícios em estudo neste trabalho, os envidraçados eram na sua generalidade feitos em madeira, material sujeito a mais deterioração, e estas anomalias que surgem relacionam-se mais diretamente com a falta de manutenção, associadas à ação das humidades. [2]



Figura 3.18 - Presença de humidade nas madeiras dos envidraçados

Esta deterioração pode ser comprovada na imagem anterior, onde se consegue observar a presença de manchas escuras na madeira que constitui a caixilharia, que previsivelmente, no seu estado original de conservação, seria totalmente de cor branca. Nas janelas dos edifícios podem então, ocorrer como principais anomalias, as anomalias devidas à ação da humidade, envelhecimento e degradação dos materiais. [2]

1. Anomalias devido à ação da humidade [2]

As janelas são os componentes de um edifício que se encontram mais sujeitos à ação das intempéries e, por conseguinte, à ação da humidade. As janelas orientadas para Sul – Oeste são as mais propícias a ter problemas de humidade, quando estão perante precipitação batida pelo vento. Esta água das chuvas tem a entrada facilitada no interior da madeira das caixilharias, devido às juntas mal vedadas, podendo ocorrer entrada de água para o interior dos edifícios, em casos mais graves, devido à débil vedação nas juntas móveis [2]. Torna-se claro que na época pré betão armado, as janelas também eram de muita fraca qualidade, a nível de proteção das juntas móveis e a nível de vedação da ligação dos caixilhos aos vidros.

Para a proteção se tornar adequada, estas madeiras deveriam ser pintadas com tintas estanques e tratadas de forma adequada ao local e à exposição solar. A madeira é um material nada compatível com a água, devido à sua elevada higroscopicidade, e uma vez em contato com a humidade poderão ocorrer deformações nas caixilharias, sob a forma de empenos, que levam a descamações nas pinturas e à separação da vedação estanque entre os vidros e os caixilhos.



Figura 3.19 - Descamação da pintura devido à presença de humidade.

2. Anomalias devidas ao envelhecimento e à degradação dos materiais [2]

As janelas são compostas e rematadas com diversos materiais de acabamento, que têm, da mesma forma, um período de vida útil. De entre esses materiais são de referir, por exemplo, os betumes ou as borrachas que fornecem a vedação dos vidros, que sofrem um desgaste ao longo do tempo, devido aos agentes exteriores atmosféricos e a diferenças de temperatura.



Figura 3.20 - Desgaste visível nas massas de vedação dos vidros na zona dos caixilhos e presença de vidros partidos.

Na situação de uma grave intempérie, sob a ação principal do vento, poderá ocorrer uma excessiva deformação e vibração no painel de vidro por flexão, que poderá levar à rotura da ligação entre os vidros e os caixilhos, facilitando a entrada de água e o desgaste prematuro das madeiras.

3. Anomalias em elementos secundários devidas a desajustamento face a determinadas exigências [2]

Neste tipo de anomalias podem-se incluir todas as que fazem parte do mau dimensionamento dos perfis dos caixilhos, espessura dos vidros, e meios de proteção das madeiras.

A espessura dos vidros é condicionante e depende da área da chapa de vidro que se irá colocar na janela, sendo que uma dimensão inadequada origina possíveis deformações excessivas que potenciarão juntas mal vedadas, deformabilidade exagerada e passagem indesejável de sons aéreos da zona circundante exterior.

3.3.4 Anomalias nas portadas

Este elemento de oclusão noturna e de proteção, apesar de estar instalado na zona interior da habitação também sofre anomalias semelhantes às dos envidraçados.

Entre elas, podem-se destacar “anomalias devidas à ação da humidade, anomalias devidas ao envelhecimento dos materiais.” [2]

1. Anomalias devidas à ação da humidade

As portadas, colocadas no interior das habitações antigas, são geralmente em madeira, aumentando o risco de absorção de humidades oriundas da condensação interior e possível entrada de água pelas juntas mal vedadas das janelas. A madeira, como já foi referido, é um elemento com elevada higroscopicidade, ou seja, a sua humedificação torna-se mais provável, manifestando, por fim, visivelmente, a humidade.

2. Anomalias devido ao envelhecimento dos materiais

O envelhecimento destes elementos torna-se agravado devido a um possível mau uso (movimentos violentos de abertura e de encerramento), agravado principalmente pela exposição à radiação a que as portadas se encontram sujeitas que passa através dos vidros, começando a afetar a pintura e a proteção destes elementos, embora seja uma ação bastante lenta ao decorrer.

“Quanto às portadas interiores é usual observar-se empenos das folhas, alguns casos de apodrecimento localizado e, sobretudo, uma degradação significativa de pinturas.” [2]



Figura 3.21 - Portadas interiores de madeira de cor branca.

3.3.5 Anomalias nas guardas das varandas

Nas guardas das varandas as anomalias são em tudo semelhantes às anomalias das janelas já acima referidas, exceto se forem metálicas, não sendo tão suscetíveis de ficarem afetadas pela humidade [2].

O metal é um material muito menos higroscópico que a madeira, portanto tem muita menor absorção de água. No entanto, convém garantir que as guardas metálicas são devidamente protegidas pelos primários indicados e pela posterior pintura que as irá proteger contra a corrosão. A anomalia mais frequente que se pode observar é a oxidação dos elementos das guardas, levando ao apodrecimento e à perda de resistência do metal, o que torna a guarda obsoleta para a sua função de proteger os utilizadores das varandas [2].

Uma zona bastante afetada e importante são as fixações das bases das guardas ao piso da varanda, que fixam os prumos verticais resistentes, podendo ocorrer corrosão destes elementos, sendo da maior prudência a sua rápida substituição e respetivo tratamento contra os agentes atmosféricos.

As guardas sendo em pedra, mais frequentes em monumentos e construções mais senhoriais, apenas são afetadas pelo aparecimento de eflorescências e pela poluição, criando escurecimento e sujidade nestes elementos de pedra. Uma simples lavagem e tratamento correto do material, resulta numa maior durabilidade sem surgimento destas anomalias [2].

Na Figura 3.22 é visível o mau estado de conservação das guardas, devido à sua oxidação, possuindo também os seus elementos de fixação corroídos.



Figura 3.22 - Guarda metálica de varanda.

3.3.6 Anomalias nas portas exteriores de entrada

As portas exteriores de entrada destes edifícios antigos, como já foi descrito, eram feitas em madeira de baixa segurança e pobre tratamento. Como tal, é de esperar que numa breve análise a estes elementos se encontrem zonas desprovidas de qualquer proteção, elementos empenados e traves de madeira soltas. Na zona superior das portas, por norma encimadas com um pequeno vidro, que era protegido por umas grades de aço, verifica-se geralmente uma elevada oxidação neste elemento e falhas nas pinturas [15].



Figura 3.23 - Porta de entrada com anomalias (vidro superior esquerdo partido, grades de proteção oxidadas, madeira com tinta degradada e ausência de puxador de abertura da porta).

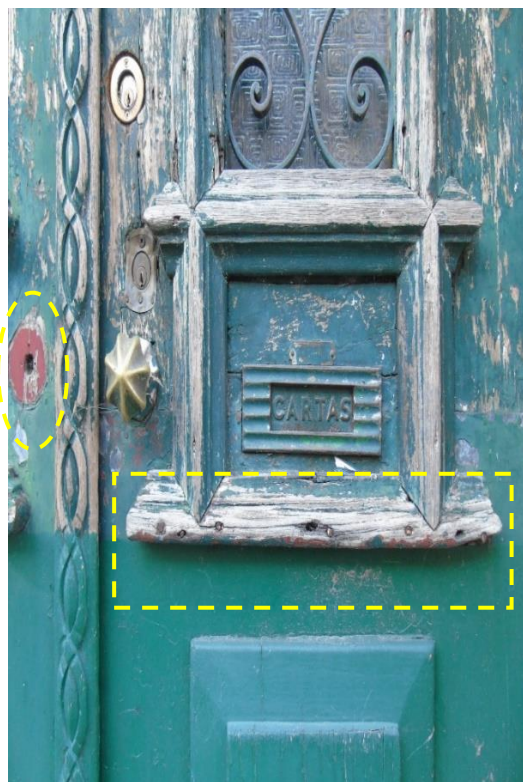


Figura 3.24 - Porta de entrada com anomalias (ausência de tinta protetora da madeira e do puxador esquerdo).

3.3.7 Anomalias nos tubos de queda

Os tubos de queda, feitos inicialmente em ferro, eram muito suscetíveis de sofrerem corrosão e conseqüente apodrecimento. Numa fase mais avançada, esses tubos viriam a ser substituídos pelos tubos de plástico que, na maioria das vezes são encontrados com interrupções em troços do tubo ou partidos. Muitas vezes, o que contribui para o enfraquecimento do material do tubo são as fixações que, com a ação dos agentes exteriores, começam a oxidar, prejudicando os tubos que por elas são fixados.

Estes tubos percorrem a fachada na vertical, desde as caleiras até ao passeio, fazendo a drenagem das águas pluviais que ficam retidas nas caleiras, durante o período de precipitação.



Figura 3.25 - Tubo em plástico partido e com fixação oxidada.

3.3.8 Anomalias nas pinturas

O mais corrente é os edifícios apresentarem a fachada pintada com tinta à base de cal. A cor pretendida da tinta era obtida a partir da adição de pigmentos de origem natural, como, por exemplo, "terra preta, óxidos de ferro vermelhos e amarelos, verde loureiro e azul da Prússia" [2]. Esta cor também podia ser obtida através da adição dos pigmentos diretamente nas argamassas de revestimentos das alvenarias.

Neste tipo de adições de pigmentos e ligadores às tintas / argamassas, era necessária uma especial atenção nas dosagens, visto que iriam influenciar a resistência e capacidade aderente da pintura ao material constituinte da parede. Segundo Ana Margarida Chaves, as duas principais anomalias encontradas nas pinturas são a descoloração e o aparecimento de manchas. [2]

A descoloração é caracterizada pela perda de cor de uma parte da pintura, ou seja, há uma perda da película de cor do elemento devido ao envelhecimento, ou uso.

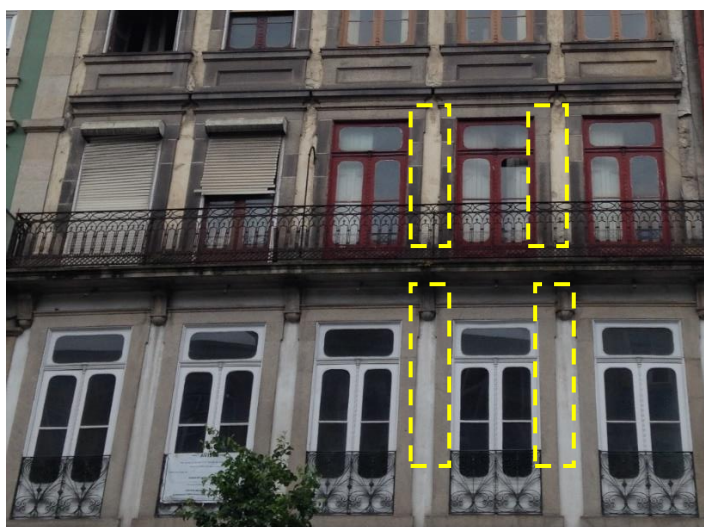


Figura 3.26 - Descoloração do piso 2 em relação ao piso 1.

“Normalmente esta patologia aparece devido a: utilização de tintas com pouca resistência à ação de agentes atmosféricos; matérias corantes de fraca resistência à ação solar; condições de exposição desfavoráveis.” [2]

A poluição atmosférica existente num centro urbano de uma cidade origina anomalias nas pinturas como **sujidade e manchas**.

Os agentes atmosféricos também têm responsabilidade nesta situação. Segundo Ana Margarida Chaves [2], esta anomalia surge devido a: base de aplicação heterogénea, permitindo a absorção diferencial do ligante do acabamento; sistema de pintura inadequado com baixo poder de cobertura; exposição da película ainda húmida à chuva ou condensação.

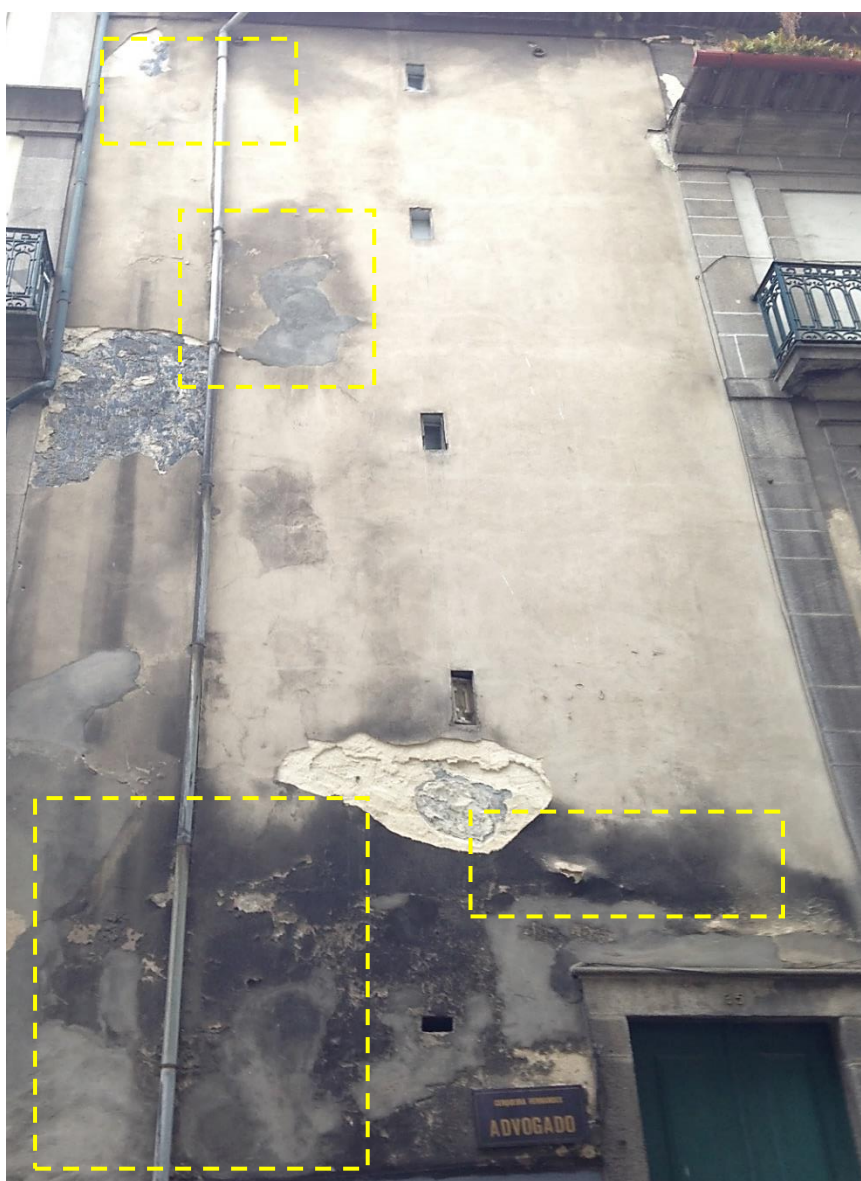


Figura 3.27 - Manchas e sujidade na pintura da fachada.

Outra anomalia, também frequente, é o destacamento da base de aplicação, como se pode observar nas Figuras 3.27 e 3.28, onde o destacamento de reboco acelerou o processo de degradação e destacamento da tinta da sua base de aplicação.

Trata-se de uma anomalia grave, visto que, os elementos internos da parede ficam expostos aos agentes atmosféricos exteriores.

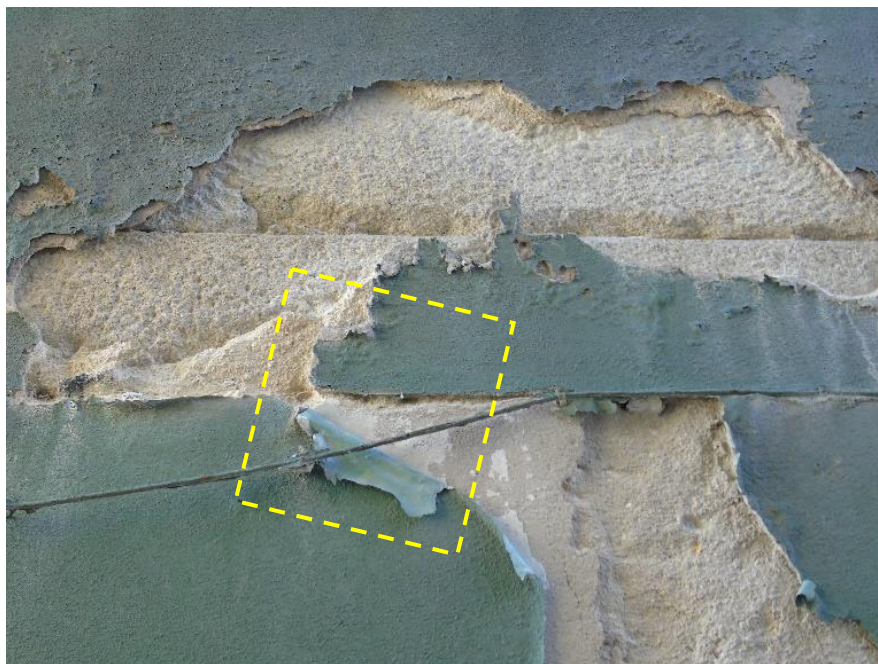


Figura 3.28 - Destacamento da tinta da sua base de aplicação.

Esta anomalia poderá dever-se ao facto de, no momento da aplicação da tinta, a base ainda se encontrar húmida ou, então, devido ao facto de no momento da aplicação do reboco a retração ser de tal ordem elevada, que provocou a perda de aderência do reboco ao tosco da parede, conduzindo a um destacamento global (reboco mais tinta) posterior.

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS E DE SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO

Após a realização de uma correta avaliação das diversas anomalias de um determinado edifício, é altura para definir estratégias e soluções para proceder à correção e reparação dessas anomalias que tornam o edifício obsoleto ou inapropriado para as funções que se lhe atribui.

Segundo João Appleton [1], uma intervenção num edifício terá geralmente em vista a correção de uma situação deficiente de segurança estrutural ou outra. Posto isto, é possível deduzir que uma intervenção bastante abrangente é a que poderá ir desde uma simples reparação de uma pintura, até a uma questão mais elaborada de reforço estrutural, que se encontra fora do âmbito do presente trabalho.



Figura 4.1 - Teatro de S. João no Porto com fachada totalmente reabilitada.

Quando se está perante um projeto de reabilitação de uma fachada de um edifício com valor cultural (igrejas, mosteiros, teatros, entre outros), onde exista a classificação de património do Estado é necessário que o projetista, ao executar o projeto de reabilitação, tenha em atenção todas as restrições, tendo extrema preocupação em manter todos os traços e materiais originais.

Num edifício habitacional as restrições são menos penosas, dado que há certas questões que poderão sofrer exceções, desde que devidamente justificadas perante a entidade reguladora (SRU- Sociedade de Reabilitação Urbana do Porto).

Numa ação de intervenção completa num determinado edifício, deve-se ter em conta qual a utilização-tipo a que o edifício se irá destinar e adaptá-lo para tal fim. Esta adaptação é necessária quer a nível estrutural quer de aspeto arquitetónico (fachada). O reforço estrutural no interior, poderá às vezes implicar pequenas alterações nas fachadas. Assegurar uma correta compatibilização, entre o reforço estrutural e a fachada já existente, é de extrema importância, a fim de evitar mudanças na “pele” do edifício que poderá ter implicações negativas por imposições camarárias.



Figura 4.2 - Edifício de cêrcea mais baixa a necessitar de intervenção profunda a nível estrutural e de fachada sem prejudicar os demais edifícios adjacentes.

Enumerar todas as anomalias de um edifício requer fazer-se um estudo aprofundado e muito elaborado dos elementos em causa, existindo alguns elementos de apoio, como por exemplo o Método MAEC.

“Este método consiste numa ficha de avaliação destinada a avaliar o estado de conservação de edifícios de habitação, serviços, entre outros. Esta ficha pode aplicar-se ao edifício num todo, mas também a uma fração de um edifício, se apenas se pretender avaliar o estado de conservação de uma unidade.” [3]

Posto isto, pode verificar-se que existem elementos de apoio ao técnico para realizar a análise a um edifício, onde neste trabalho irá ser focado o tema principal, a fachada. Segundo João Appleton [1], o desenvolvimento de soluções requer experiência profissional e uma boa formação de base que permita fazer opções seguras sobre problemas que não são tradicionais no projeto. As paredes em edifícios antigos apresentam-se, como já foi descrito, com muitas anomalias.

4.1 REABILITAÇÃO DE ANOMALIAS NAS PAREDES DA FACHADA DE ALVENARIA DE GRANITO

A nível do estado de conservação das alvenarias de granito de uma fachada, quando a alvenaria se encontra desagregada a solução passa por uma opção de consolidação dos elementos através da técnica de injeção de massa ligante do tipo calda de cimento ou resinas epoxídicas [17].

Estas soluções deverão ser alvo de um estudo antes da sua escolha como, por exemplo, há que considerar o tipo de alvenaria a tratar, a espessura da parede e que dimensões de vazios e nível de desagregação presente na parede. Esta injeção deverá cumprir certos requisitos, tais como a fluidez da calda, parâmetros de expansão e capacidade resistente.

Ditam as boas normas de execução que este reforço, através da injeção, deverá ser feito de baixo para cima, estando completo quando os vazios começarem a aparecer preenchidos.

Caso a parede de alvenaria de granito apresente fendilhações de espessura considerável, terá de se aplicar outra solução de consolidação como, por exemplo, estabelecer uma ligação metálica entre as duas partes separadas por uma determinada fissura, através da utilização, segundo João Appleton [1] de redes metálicas, ou “gatos”.

As ligações metálicas acarretam o grave perigo da corrosão, sendo que, quando ocorre dilatação das peças degrada as próprias alvenarias e rebocos. Sendo assim, estes elementos deverão ser devidamente tratados ou usar-se aço inoxidável.

Nas zonas de união entre materiais novos e já existentes, que requerem maior atenção, é aconselhado, segundo Appleton [1], utilizar-se ligações através de meio mecânicos como por exemplo, chapas metálicas aparafusadas ou introdução de varões de aço em sulcos.

4.2 REABILITAÇÃO DE ANOMALIAS NOS REVESTIMENTOS

Segundo Maria R. Veiga [4], as intervenções em revestimentos de edifícios antigos devem ser, sempre que possível, no sentido da preservação e reparação dos revestimentos existentes. Sempre que tal não é possível, os revestimentos de substituição a escolher devem ser compatíveis com os materiais dos elementos pré-existentes, o que implica que apresentem características semelhantes, principalmente no que se refere ao comportamento à água, à deformabilidade, ao teor de sais solúveis e aos mecanismos de envelhecimento.



Figura 4.3 – Revestimento cerâmico devidamente reabilitado e preservado.

4.2.1 Revestimento cerâmico

Quando se está perante um edifício em utilização, as operações de preservação destes elementos são de elevada importância, primeiro, porque se podem tratar de peças raras de encontrar, o que por si só lhes acrescenta valor.

E, em segundo lugar, são peças que estão suportadas por argamassas já antigas, que ao longo dos anos vão perdendo a sua resistência, podendo ocorrer o seu descolamento, podendo em perigo os transeuntes e aumentando a probabilidade de ocorrerem infiltrações para o interior do edifício.

No caso concreto do revestimento feito com recurso a azulejos, o seu descolamento da argamassa de suporte poderá derivar de humidade presente na junta entre o cerâmico e a argamassa de colagem, ou poderá apenas ser o envelhecimento da argamassa a fazer-se notar [4].

Como ponto de partida, poderá considerar-se a humedificação dos materiais de fixação como primeira causa e avaliar onde a humedificação teve origem, sem se considerar causas intermédias.

Se houver intenção de eliminar esta anomalia definitivamente, é necessário adotar medidas corretivas, eliminando desde a raiz o problema.

Quando se verifica humidificação das argamassas de suporte aos elementos cerâmicos de revestimento, poderá proceder-se primeiro à remoção destas argamassas já deterioradas e, de seguida, proceder à secagem da zona afetada através de simples arejamento exterior [4].

De seguida, poderá aplicar-se novamente uma argamassa de fixação nova, na zona a solucionar, que depois de bem aplicada, os azulejos poderão ser de novo colocados na parede de fachada.

Este descolamento também se pode dever ao facto de na própria parede de alvenaria de granito terem ocorrido fissuras que criaram oscilações nas argamassas de fixação fazendo com os azulejos caiam.

Caso estas fissuras estejam estabilizadas, pode-se proceder à sua colmatagem através de argamassa derivada de cimento ou utilizar mástique monocomponente à base de poliuretano, para selagens e colagens elásticas. [5]



Figura 4.4 - Aplicação do mástique. [5]

No caso destas mesmas fissuras serem de maior expressão, a solução passa por criar aberturas e rebaixos na zona afetada e fazer um reforço com fibras através de a aplicação ao longo das fissuras de linhadas de sisal e, posteriormente, aplicar argamassa de revestimento, de forma a dar continuidade ao material novo na junção com o já existente [4].



Figura 4.5 - Linhadas de sisal. [5]

Há soluções mais recentes de resolução deste problema, mas que a ver do autor deste trabalho, o melhor compromisso entre o material existente e a reparação necessária é assegurada com a solução indicada sem prejudicar a compatibilidade dos diferentes materiais.

Na zona das juntas dos azulejos também poderá haver infiltrações de água, devendo ser corrigida através da tomação das juntas através de um material composto por cimento, adjuvantes orgânicos e inorgânicos e pigmentos minerais, mais conhecida por argamassa de acabamento de juntas [4]. Este material deverá, preferencialmente, ter características anti fungos que irá evitar o possível escurecimento da zona da argamassa, dificultando a criação de eflorescências nestas zonas.

No caso das fachadas com acabamento final pintado, as anomalias que surgem são mais fáceis de solucionar, visto que em muitos dos casos uma simples lavagem poderá solucionar a maior parte das anomalias. No caso de o aparecimento de manchas nas pinturas, como já foi anteriormente descrito no capítulo 3, a solução irá passar por uma decapagem total, com recurso a jato de água (a pressão controlada), à fachada onde a tinta degradada deve ser removida.

Após essa decapagem, deverá ser avaliada a qualidade e o estado das argamassas da alvenaria e corrigir fissuras e possíveis locais de desagregação da argamassa. De modo a que a tinta tenha uma duração mais longa e resista melhor às condições agressivas exteriores deverá ter aditivos anti fungos.

4.2.2 Revestimento pintado

Para além do revestimento cerâmico, em alguns edifícios antigos era aplicado o acabamento final da fachada em revestimento pintado. A pintura pode ser o acabamento mais pretendido quando avaliamos o fator proteção e prevenção contra a penetração de água e desagregação da base.



Figura 4.6 – Fachada com acabamento pintado a ser reabilitada.

Como todos os outros processos de reabilitação, antes de se proceder à repintura da fachada é necessário analisar todas as anomalias presentes, caso existam, e em caso afirmativo resolvê-las antes de se avançar para a solução final.

Portanto, antes do acabamento com tinta, é necessário proceder-se à preparação da base de aplicação tendo em conta se a base (argamassas de reboco) está fissurada ou com indícios de possíveis destacamentos da alvenaria, qual a sua natureza e que tipo de argamassas estão originalmente aplicadas e, em caso de eflorescências e sujidades, executar a lavagem com recurso a jato de água “controlado” intenso de modo a remover todas as impurezas que possam prejudicar a boa aderência da pintura [4].

De modo a garantir um acabamento uniforme e com qualidade, deve-se remover todas as tintas antigas e garantir que as argamassas se encontram preparadas para receber uma nova camada de tinta e principalmente, se há compatibilidade entre os materiais.

No caso de aplicação de uma nova camada de argamassa de regularização da parede, é conveniente garantir uma certa rugosidade que facilite a aderência do novo acabamento e para assegurar que a argamassa em relação à tinta tem um comportamento neutro, deverá ser aplicado previamente um produto antialcalino [2].

O reboco em argamassa não convém ser poroso, mas uma certa porosidade assegura a boa respiração da parede entre os períodos de humedecimento e secagem. Caso esta porosidade seja selada poderão surgir bolhas na pintura que poderá, um dia mais tarde, provocar a migração da água para as zonas internas da parede, criando possíveis anomalias [2].



Figura 4.7 – Acabamento pintado em muito mau estado de conservação.

Um dos grandes problemas, quando se procede à reabilitação da pintura de uma fachada, ao fim de uns dias após os trabalhos realizados começam a surgir empolamentos e destacamentos da tinta, devido ao facto de a compatibilidade entre materiais não ter sido assegurada. As tintas utilizadas antigamente eram feitas à base de cal e com pequenas reparações de fissuras, por exemplo, com argamassas à base de cimento e cal hidráulica irá provocar reações adversas na base original da parede.

Com base no que afirma Raul Lino [8], o caiado dá uma certa dinâmica às fachadas, dá-lhes uma forma de frescura e beleza natural. Posto isto, pode afirmar-se que a técnica do caiado era obtida através do uso de cal, possuindo uma grande compatibilidade na aplicação entre materiais, nomeadamente com os rebocos tradicionais. A cal era adicionada de pigmentos de cor natural, para obter a coloração pretendida. A afinação da cor era executada através de várias tentativas até se achar suficiente a tonalidade que se pretendia.

As tintas ao longo dos anos foram evoluindo muito, tanto nos seus componentes como no tipo de acabamento que se lhes pode conferir. A tinta não aquosa, ou frequentemente conhecidas por tinta acrílica sendo o exemplo dessa evolução, sendo tintas bastantes sofisticadas, no entanto a sua compatibilidade com as paredes dos edifícios antigos fica um pouco comprometida, devido ao facto de apresentarem uma elevada resistência à aderência, quando aplicado numa argamassa de reboco antiga.

Portanto, a tinta mais adequada para aplicar no contexto da reabilitação de fachadas antigas será a tinta plástica por inúmeros fatores. Esta composição permite-lhe aderir a todo o tipo de argamassa, antiga ou moderna. [11]

4.3 REABILITAÇÃO DE ANOMALIAS NAS CANTARIAS E CORNIJAS

Como já foi referido, cantarias e cornijas são elementos de elevada durabilidade e resistência dado que são feitos em granito, portanto, as anomalias mais presentes são a sujidade e o aparecimento de algumas eflorescências. [14]

Estando perante um estado geral de sujidade e pequenas modificações superficiais, a limpeza deverá ser feita por processos, de acordo com a natureza do material constituinte e do tipo de gravidade das alterações observadas. Estes processos vão desde uma simples lavagem, a uma escovagem e até a uma rápida lixagem da zona. Em casos mais graves, o tratamento terá de englobar processos químicos com produtos ácidos ou alcalinos, ou englobar lavagens mais abrasivas como o caso de jato de areia ou jato a vapor. Caso as cantarias apresentem assentamentos diferenciais em relação à fachada ou possíveis descolamentos da fachada principal, há que o corrigir rapidamente. [14]



Figura 4.8 - Cantaria com eflorescências



Figura 4.9 - Cantarias devidamente reabilitadas

Nas cornijas as soluções de reabilitação são em tudo semelhantes às cantarias. Trata-se de uma zona suscetível a adquirir eflorescências, devido ao facto de se encontrarem na zona inferior dos beirais dos telhados, estando a maior parte do seu tempo à sombra, mas que adquire bastante humedificação durante o Inverno devido à precipitação.

A solução para este problema, passa por assegurar uma boa manutenção de lavagem desta zona, com recurso a jato de água. Uma solução que irá retardar o aparecimento de eflorescências é o uso de um repelente hidrófugo, que se infiltra nos poros das pedras das cornijas, formando uma película que irá proteger a pedra das intempéries.

Este produto deverá ser renovado anualmente, para garantir a sua total uniformidade de aplicação.



Figura 4.10 - Cornijas devidamente reabilitadas.

4.4 REABILITAÇÃO DE ANOMALIAS NOS ENVIDRAÇADOS

O envidraçado tem diversos componentes suscetíveis de anomalias e requer uma análise separada de soluções, individualmente. As soluções irão ser descritas para as juntas entre os caixilhos e os vidros, os próprios vidros, a caixilharia e os peitoris.

A nível de peitoris, quando estes possuem deficiências graves, a nível de estanquidade à água das chuvas, deve-se proceder à sua substituição por novos peitoris de betão, cantaria ou madeira devidamente tratada para resistir à ação da precipitação. Deve-se garantir que os peitoris ficam salientes horizontalmente, com uma pendente mínima para assegurar a condução da água.

Estes peitoris deverão estar corretamente assentes em argamassa de boa qualidade e desconetados das ombreiras dos vãos (para garantir a sua substituição quando necessária) e as juntas entre o peitoril e as ombreiras deverão ser vedados com mástique. [1]

No caso de os caixilhos das janelas, o âmbito da intervenção depende sempre do seu estado de conservação. Há duas rotinas de solução que podem ser descritas como: substituição total das caixilharias ou executar a sua reparação por setores nas zonas mais afetadas. Um fator a ter em atenção na substituição de uma caixilharia é ter a preocupação de manter a traça original do envidraçado, sem causar muitas perturbações de arquitetura na fachada.

Claro está que esta substituição poderá ser feita por material da mesma natureza da caixilharia já existente, no entanto, substituir a madeira por alumínio lacado é a solução mais corrente, dado que, a nível térmico e acústico funciona muito melhor, mas deverá ter-se em conta a composição deste alumínio e sua respetiva espessura, de modo a ser adequado à fachada onde será instalado. [1]



Figura 4.11 - Caixilhos de madeira em relativamente bom estado (embora com deficiências de pintura).

Ao proceder à substituição da caixilharia de madeira por uma nova, do mesmo material, deverá, segundo Vasco Freitas [15], ter-se preferência pela madeira que apresente um crescimento regular, isto é, com anéis de espessura sensivelmente constantes, sem grandes nós (inferiores a 2cm de diâmetro). Todo o material que apresente um número elevado de fissuras, manchas anormais e, o mais importante, que apresente sinais de ataques de insetos ou fungos, deverá ser logo de imediato excluído.

Deve-se garantir também que a madeira a utilizar, depois de extraída, teve o seu tempo de secura necessário para adquirir a sua devida resistência e estar apta a ser trabalhada para o fim de constituir uma caixilharia.

Perante uma caixilharia em que se verifique que apenas a camada de acabamento por norma a pintura, se encontra desgastada, não havendo anomalias que se poderão tornar patologias uma repintura do material deverá bastar para assegurar a reabilitação adequada da caixilharia. Como primeira etapa deve-se fazer a limpeza adequada da madeira, removendo todas as substâncias estranhas, tais como resquícios de tinta ou de verniz existentes. [1]

Previamente à aplicação de qualquer tinta ou produto de acabamento, deverá impregnar-se a madeira em produtos que a tornem hidrófuga, de modo a conferir a maior impermeabilidade possível, de forma que a ação de reabilitação a realizar perdure por mais tempo. Na época, os artífices usavam materiais rudimentares para conferir o acabamento às caixilharias, através da utilização do óleo de linhaça e compostos metálicos para acelerar a secagem da tinta. A nível de coloração, era conseguida através do uso de pigmentos naturais e eram realizadas tentativas até se alcançar a cor desejada.



Figura 4.12 - Caixilharias de madeira reabilitadas.

CAPÍTULO 4

Em jeito de síntese, das operações a realizar segue em baixo uma metodologia que serve de apoio para a reparação das caixilharias exteriores de madeira. A preparação da base é de extrema importância, portanto deverão seguir-se as seguintes etapas:

- Decapagem e limpeza cuidada do verniz ou da tinta existentes;
- O processo de remoção de substâncias estranhas através da lixagem deverá ser feita no sentido dos veios da madeira;
- Passagem de um produto de limpeza, do tipo diluente, para eliminar gorduras e detritos;
- Tratamento prévio, através da aplicação de hidrofugante na madeira e tratamento contra insetos.

Após estas etapas realizadas, é altura de se proceder ao acabamento final da madeira que se pretende. Para esta tarefa convém sempre, no âmbito de uma reabilitação adequada, reutilizar técnicas tradicionais através do uso de um “primário oleoso para realizar uma fina película de aderência para de seguida suportar a tinta de óleo como acabamento final. Para finalizar, após aplicação da tinta, deverá passar-se uma camada de secante (óleo de linhaça com água), à qual se adiciona o pigmento natural da cor pretendida, sob a forma de pó”. [6]

Na atualidade da reabilitação urbana, as técnicas antigas raramente são utilizadas, sendo utilizadas as técnicas mais atuais. Posto isto, deverá antes da fase de acabamento com tinta, aplicar-se um primário oleoso, de preferência acrílico, para servir de base a aplicar-se a tinta.

Claro que na atualidade, vivida de exigência e conforto por parte dos moradores, na generalidade dos casos as caixilharias de madeira são substituídas por caixilharias metálicas que permitem melhorar o conforto térmico e acústico da habitação.



Figura 4.13 - Caixilharia metálica, manifestamente desenquadrada dos elementos circundantes, no que respeita a formato e aspeto.

Antigamente, também se usavam em habitações mais nobres varandas envidraçadas vulgarmente conhecidas de “marquise”. Este tipo de solução construtiva é comum oxidar, em determinadas zonas, logo é necessária uma reparação destas zonas seguidas de uma posterior pintura.

As substituições de algumas peças obsoletas deverão ser realizadas e nunca optar pela colocação de caixilharias metálicas totalmente novas, que iria prejudicar o valor patrimonial do elemento e do edifício em questão. Portanto, deverá, em semelhança com as caixilharias de madeira, fazer-se substituições parciais de material nas zonas afetadas.

A reparação destes elementos requer a sua limpeza prévia com recurso a um forte jato de água que provoque a total limpeza do metal e o seu respetivo desgorduramento. Antes da aplicação da tinta final, deve-se aplicar um primário de zinco, como base protetora do metal contra a corrosão e oxidação. Este primário também favorece a aderência da tinta à sua base de aplicação. Após conclusão destas etapas, pode-se aplicar a tinta como acabamento final, de esmalte ou tinta acrílica com o respetivo tipo de brilho pretendido pelo utilizador ou o mais adequado à fachada do edifício e na envolvente em que se insere.

No caso de reparação dos vidros, só resta a sua substituição em caso de quebra. Nas juntas entre os vidros e os caixilhos, zona de elevada suscetibilidade de infiltrações, convém fazer a correta retificação da condição de todas as juntas e renovar os mástiques, de forma a garantir a estanquidade do envidraçado. Antes de se aplicar os mástiques novos nas juntas, deve-se remover o composto antigo, para que na aplicação de um novo elemento, a base de aderência seja equilibrada em toda a zona da junta. [1]



Figura 4.14 - Envidraçados reabilitados, faltando aplicar a pintura sobre a madeira.

4.5 REABILITAÇÃO DAS GUARDAS DAS VARANDAS

As guardas, tratando-se de estrutura metálicas de ferro forjado, na sua maioria, o processo de degradação é semelhante às caixilharias metálicas, e de igual forma o seu processo de reabilitação. Um ponto fulcral nas guardas são os seus pontos de fixação à varanda, que têm de estar na totalidade da sua resistência para não pôr em questão a segurança dos utilizadores. Antes de uma pintura é aconselhável uma cuidada lixagem de todos os detalhes das guardas, pois tratam-se de peças muito decorativas e por consequência, com muitos pequenos detalhes o que nem sempre torna o trabalho de recuperação mais acessível.

Na imagem 4.15 é possível constatar a elevada ornamentação dada na altura às guardas metálicas das varandas, servindo não só como elementos de segurança, mas também como elementos decorativos de uma fachada.



Figura 4.15 - Guarda de varanda em ferro forjado.



Figura 4.16 – Guarda em ferro forjado na varanda do 1º piso em ferro fundido no 2º piso com outra ornamentação.

Embora mais raras no Porto, as guardas em granito também eram utilizadas em edifícios mais nobres da cidade. No caso de reabilitação destes elementos em pedra, a solução irá passar por uma lavagem sob pressão com recurso a jato de água e após este tratamento, a fim de garantir a durabilidade da operação, é aconselhável aplicar na pedra um repelente hidrófugo que irá evitar que as eflorescências e manchas de sujidade adiram com facilidade aos seus poros.



Figura 4.17 - Guarda de ferro fundido muito pormenorizada a nível de ornamentação.

Na figura que se segue pode-se observar uma guarda em granito que necessita apenas de uma cuidada lavagem, retomando dessa forma o seu aspeto original.



Figura 4.18 - Guarda em granito com balaústres.

4.6 REABILITAÇÃO DAS PORTAS EXTERIORES DE ENTRADA

As portas principais das habitações são normalmente feitas em madeira, estando sujeitas à ação das condições atmosféricas, pelo que, possuem em regra, diversas anomalias a tratar, quando a manutenção é escassa.

As portas exteriores poderão possuir anomalias na zona da bandeira, composta por vidros e grades metálicas, nas caixas de correio, puxadores e a própria porta em si e todos os elementos que para o seu bom funcionamento contribuam. [15]

Perante uma porta de entrada encimada por uma bandeira em vidro, protegida por grades metálicas é necessário verificar se há possibilidade de infiltrações de água devido à precipitação.

Em caso afirmativo, a zona das juntas entre os caixilhos e os vidros deverá ser tratado de forma semelhante aos envidraçados, ou seja, aplicar mástique em todas as juntas, de forma a vedar totalmente estes pontos de infiltração. Esta bandeira que, por sua vez, é protegida por uma pequena grade metálica, esta em caso de indícios de oxidação ou corrosão, é necessário removê-la do local e proceder-se ao seu tratamento.

Este tratamento passará por uma lixagem e escovagem de toda a zona metálica, com o intuito de retirar as partes afetadas pela oxidação, e ligeiros resíduos da tinta que ficam agregados ao metal.

De seguida, deverá proceder-se ao desengorduramento do elemento através de um produto à base de diluente, que irá desengordurar e tornar apta a base a receber os respetivos primários de proteção e a tinta de acabamento. Findo este processo, poderá voltar a fixar-se no local de origem já devidamente reabilitada, no entanto convém assegurar pelo menos de dois em dois anos uma operação de manutenção a estes elementos com vista a assegurar a sua resistência, durabilidade e boa imagem.



Figura 4.19 - Portas exteriores de entradas encimadas por bandeira com gradeamento de ferro fundido (note-se a anomalia da porta direita, sem esse elemento metálico).

As caixas de correio que antigamente eram todas aplicadas numa das almofadas da porta eram metálicas e, portanto, o tratamento a dar é exatamente o mesmo das guardas metálicas das bandeiras. [15]

Trata-se de uma peça com um uso considerável, pelo que os componentes de rotação e abertura, denominadas dobradiças deverão ser revistas e analisadas para garantir o seu bom funcionamento.

Como se pode verificar nas imagens seguintes, estas peças também poderiam ser ornamentadas com entalhes no metal, portanto a sua cuidada manutenção e preservação é de elevada importância.

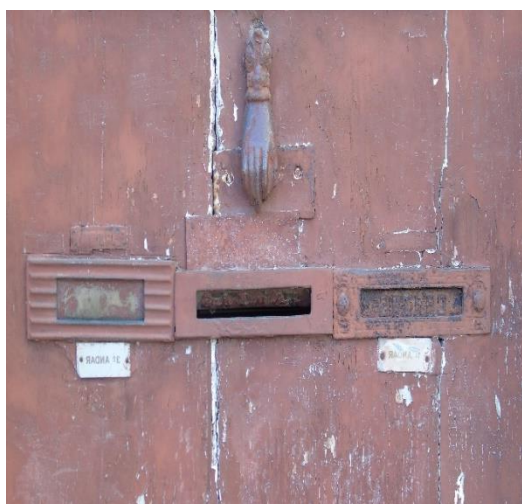


Figura 4.20 – Exemplos de caixas de correio.

Outros componentes, com bastante utilização numa porta de entrada, são os puxadores e fechaduras, assumindo-se como as peças de maior desgaste numa porta, visto serem os pontos onde o utilizador exerce a função de abertura e de encerramento da porta.

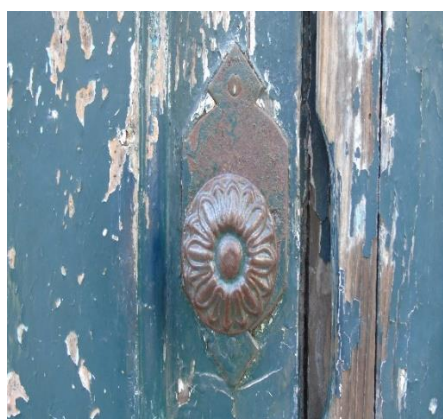
Tratam-se também de peças metálicas que, na sua generalidade, apenas requerem um polimento e uma pintura de acabamento.



a)



b)



c)



d)

Figura 4.21 – Puxadores e fechaduras antigas em ferro; a) dupla fechadura antiga e pormenor da irregularidade da alvenaria; b) Puxador em ferro; c) Puxador com ornamentação; d) Puxador de era mais moderna estilizada desde a pega à sua base de suporte.

Abordando as portas propriamente ditas, constituídas em madeira, são elementos muito suscetíveis de se danificarem. Em especial, nas áreas mais próximas do pavimento exterior.

É corrente encontrarem-se portas chapeadas em cerca de 0,50 m na base, para uma reabilitação (esteticamente deficiente) desta zona localizada e mais afetada pela humidade.

Estes danos já foram analisados anteriormente nesta dissertação, e as soluções terão de passar por unir esforços máximos a fim de evitar a substituição total da porta. Há situações quase irreversíveis de tratamento, mas não se tratam de tarefas impossíveis.

Numa primeira fase, há que analisar o estado das madeiras da porta a nível de presença de humedificações da madeira, microfissuras na sua estrutura e falta de vedação entre as uniões das diversas peças da porta. Após colmatagem de fissuras existentes, é necessário recorrer à lixagem da porta para eliminar os vernizes e tintas aplicadas anteriormente.

Em caso de empenos, é necessário proceder à sua correção através de pregagem de umas chapas metálicas que, no final serão pintadas à cor final da porta.

Após o processo de lixagem e polimento das madeiras, deve recorrer-se à sua impregnação com a finalidade de lhes dar capacidades hidrófugas, para resistir, de melhor forma à ação da água da precipitação e ao ataque de possíveis ações biológicas, que poderão provocar o aparecimento de patologias. No final, é necessário recorrer à afinação da cor e definir se se pretende um acabamento final com brilho ou meio brilho, para determinar a escolha correta do verniz como camada final de proteção da porta.

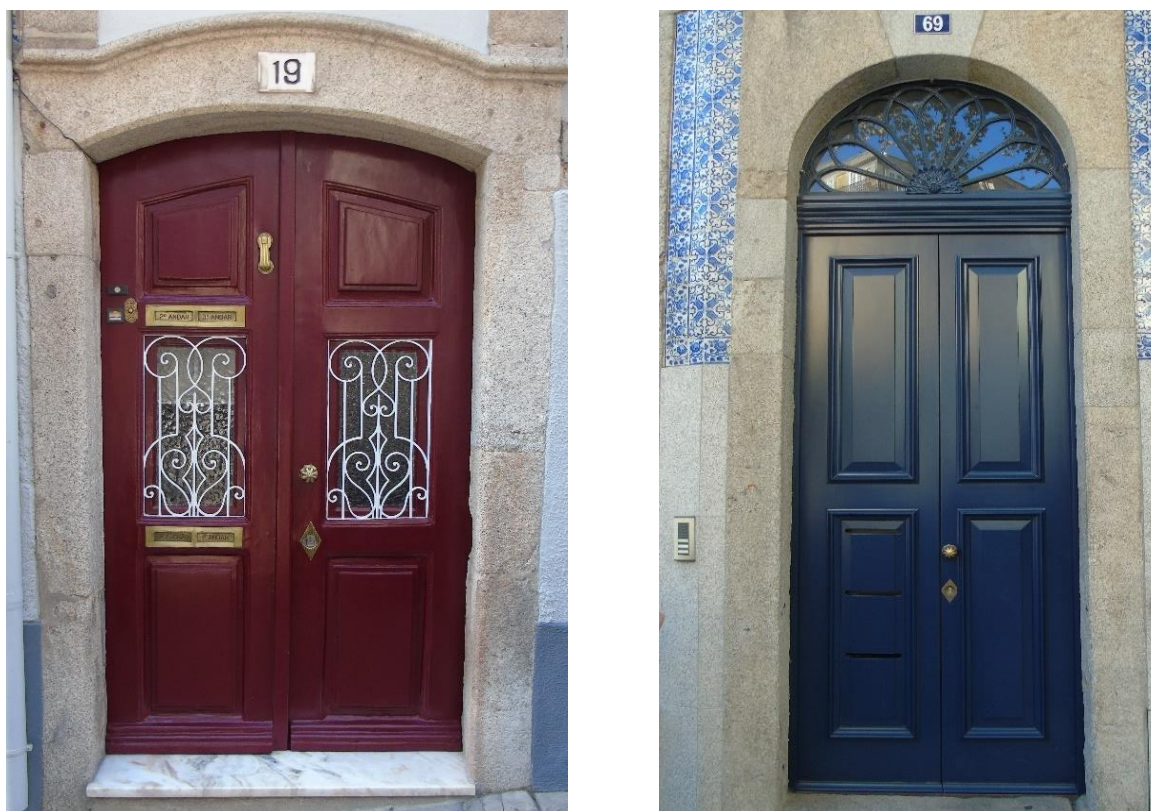


Figura 4.22 – Portas devidamente reabilitadas.

4.7 REABILITAÇÃO DE TUBOS DE QUEDA DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os sistemas de drenagem de águas pluviais utilizados em grande parte dos edifícios antigos, eram muito simples, integrando apenas uma caleira e alguns tubos de queda. As caleiras recolhem a água vinda da cobertura, e os tubos de queda encarregam-se de a transportar para o local adequado à sua drenagem, em geral a valeta do arruamento. Este sistema, além de simples, era eficaz. A reabilitação deste sistema deverá cingir-se à sua correta reparação, adotando algumas das medidas abaixo mencionadas [1]:

- a) Deve-se avaliar a capacidade de drenagem atual do sistema, efetuando as correções de traçados e inclinações necessárias, sempre em conformidade com a regulamentação em vigor.
- b) Reparação, caso necessária, das caleiras e executar a sua devida impermeabilização e tratamento da pintura, caso se encontre danificada ou oxidada.
- c) Recorrer ao desentupimento das vias de circulação da água, em caso de obstrução, através de meios mecânicos ou através da adição de produtos próprios para o efeito.
- d) Reparação das ligações entre as caleiras e os tubos de queda, tentando manter sempre o desenho original da época.
- e) Frequentemente, os tubos de queda encontram-se partidos; portanto, que a solução passa pela sua substituição total por tubos em PVC ou em aço inox ou zinco. Esta escolha de material tem de ponderar o seu correto enquadramento na fachada. Na zona junto ao passeio, caso a escolha passe por um tubo de queda em PVC, a sua base deverá ser protegida com outro tubo em aço galvanizado, com uma altura entre 1m e 2m para o proteger de roturas por choques acidentais.
- f) Limpeza e reconstrução das ligações dos tubos de queda aos ramais de ligação nos passeios.

É de notar que todos os trabalhos de repintura destes elementos, quando necessário, deverá ser feito de acordo com o tipo de material presente. Previamente à aplicação da tinta final, dever-se-á aplicar um primário de proteção, para garantir a sua durabilidade e resistência aos agentes externos.

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDO

Para a presente dissertação, através de contatos estabelecidos com a Sociedade de Reabilitação Urbana do Porto, foi cedido um edifício para ser estudado a nível de reabilitação da sua fachada a nível estético, térmico e acústico. Este caso de estudo visa aplicar todas as questões abordadas nos capítulos anteriores, servindo para enriquecer este trabalho e para melhor explicitar tudo o que foi descrito e estudado. De considerar que o aumento do peso do pavimento, por questões térmicas e acústicas, justificaria certamente um reforço estrutural, ainda que, de pouca amplitude. Note-se que os edifícios antigos, a nível de capacidade resistente dos pavimentos são em geral deficientes.

5.1 CARATERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício em questão situa-se no quarteirão de Carlos Alberto, na Rua de Sá Noronha com número polícia 153, na cidade do Porto. É um edifício de habitação e comércio, da segunda metade do século XIX do ano de 1857, constituído por rés-do-chão, com função de armazém comercial e entrada do edifício, dois pisos e um recuado que se destinam a habitação, sendo o primeiro piso um fogo e o segundo e terceiro piso recuado outro fogo. Este edifício em análise tem apenas uma fachada desafogada, na orientação nascente, enquanto que na confrontação poente o edifício confina com outro, virado para a Rua das Oliveiras.

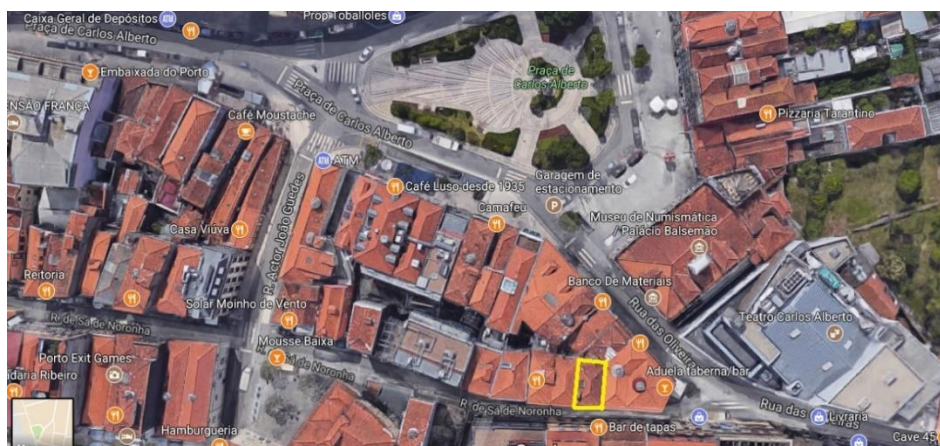


Figura 5.1 - Localização do edifício. [19]

Como se pode verificar na Figura 5.2 o edifício, situa-se integrado num conjunto de edifícios em banda, todos com a mesma configuração e arquitetura.



Figura 5.2 - Edifício em estudo.

O edifício em estudo é de construção antiga típica da época na cidade do Porto, tendo as paredes exteriores resistentes em alvenaria de granito, pavimento em madeira e respetivos travamentos, cobertura inclinada, revestida a telha cerâmica, caixilharia e porta de entrada de madeira e tubos de queda em PVC. Na zona do comércio, situado no rés-do-chão, a caixilharia já foi substituída por caixilhariás de alumínio. No andar do recuado, como é habitual, a solução construtiva já é uma construção mais ligeira e mais leve.

Todos os elementos da fachada serão analisados e será descrita a respetiva solução de reabilitação, posteriormente, nesta análise. A complementar este trabalho de análise deste edifício, embora fora do âmbito do trabalho em relação à fachada, o edifício será analisado a nível térmico e acústico uma das frações, tendo sido escolhida a fração do 1º piso. O estado desta fachada será alvo de análise, e serão propostas soluções de melhoria, devidamente comprovadas com cálculos.

5.1.1 Projeto de arquitetura existente para a reabilitação do edifício

O projeto de arquitetura atual, já existente para este edifício, pretende transformar internamente o edifício num edifício de habitação multifamiliar, com três apartamentos T1 mais uma zona destinada a comércio.

As soluções propostas tomarão por base esse projeto, de forma a elaborar um dossier de reabilitação completo para o caso em estudo.

Como se poderá ver a seguir, encontra-se proposto a alteração interior para uma habitação, mantendo toda a traça de arquitetura exterior que assim a autarquia o obriga. Trata-se de um edifício integrado na zona de reabilitação estipulada pela Sociedade de Reabilitação Urbana do Porto.

A área de reabilitação urbana definida tem cerca de 49 hectares, conforme se representa na figura 5.3.

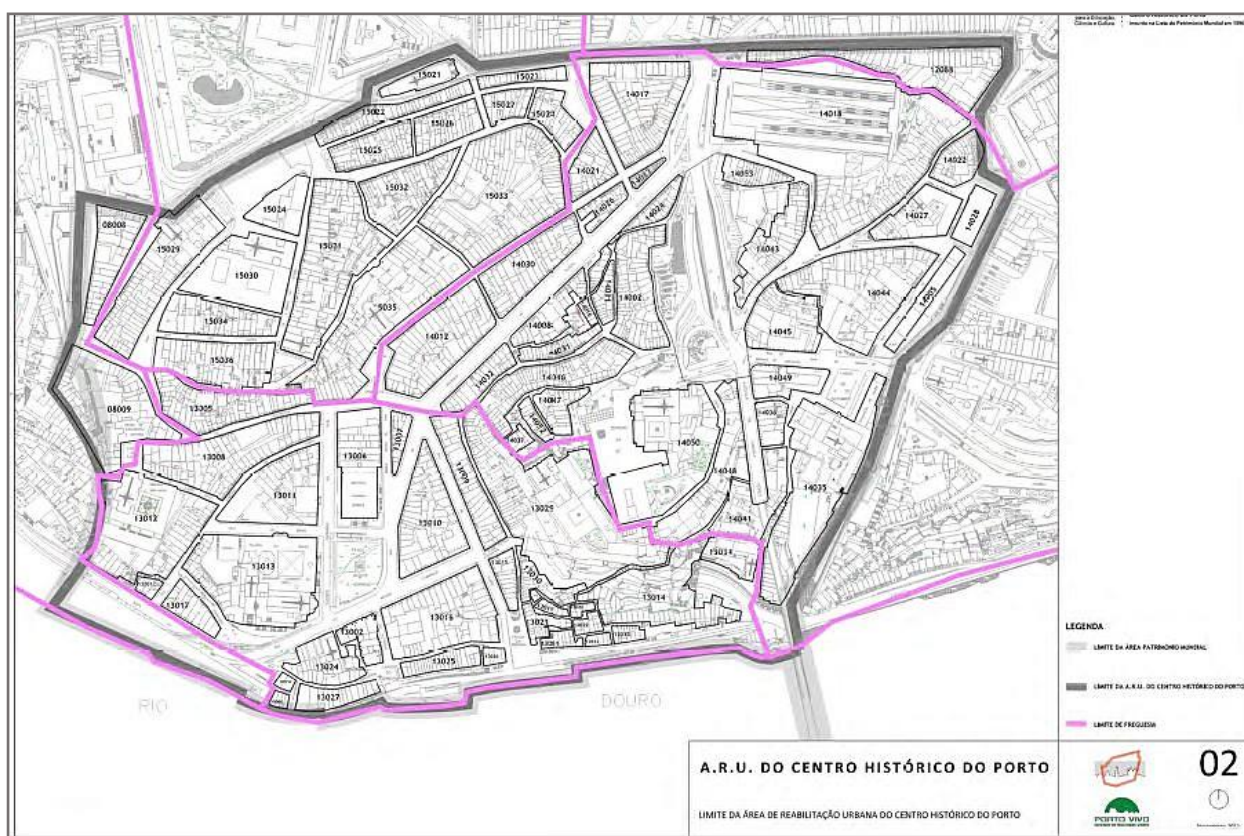


Figura 5.3 - Delimitação da Área de Reabilitação Urbana do Porto a cor cinzenta. [9]

Seguem-se as plantas de arquitetura sem escala técnica, gentilmente fornecidas pela Sociedade de Reabilitação Urbana do Porto. As plantas seguem, em anexo, à escala 1:100.

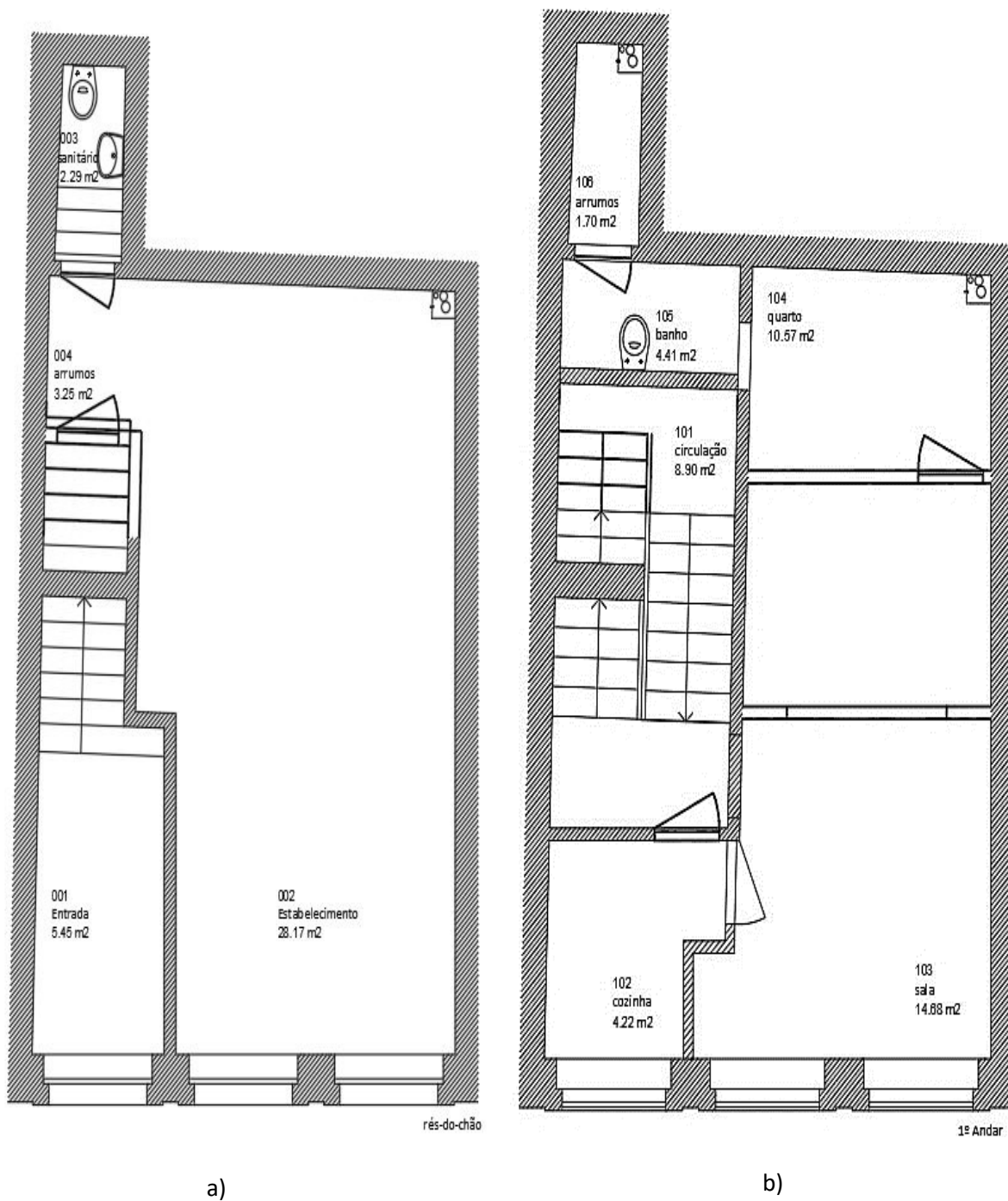


Figura 5.4 - Plantas de arquitetura; a) Planta do rés-do-chão; b) Planta do 1º piso.

O segundo piso e o terceiro piso recuado são praticamente semelhantes, à exceção de uma parede divisória entre a cozinha e a sala como se poderá observar nas plantas indicadas abaixo.

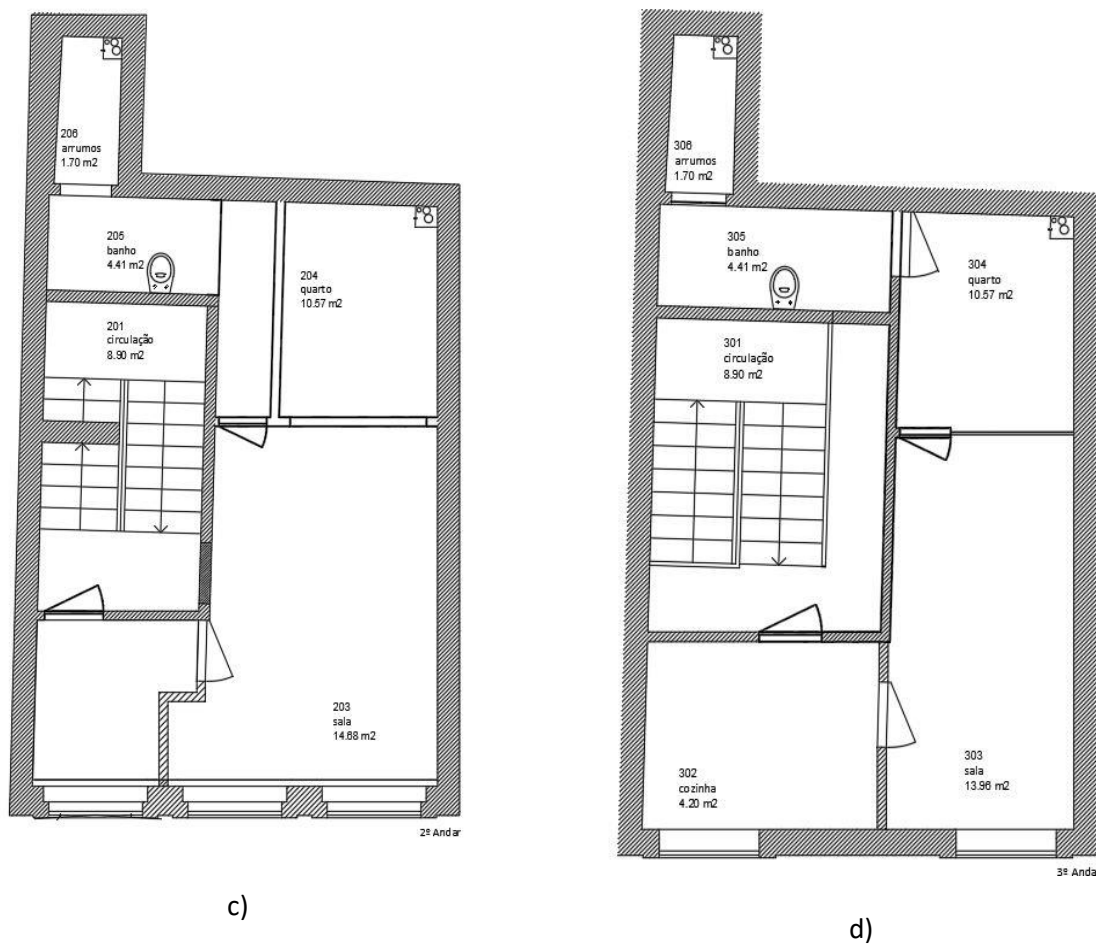


Figura 5.5 – Plantas de arquitetura; c) Planta do 2º piso (Fração em estudo para simulação térmica e acústica); d) Planta do 3º piso.



Figura 5.6 -Alçado principal do edifício em estudo.

5.1.2 Análise térmica da fração T1 do 2º piso

A fim de enriquecer a presente dissertação e de entender como se comporta este edifício a nível térmico, irá proceder-se à análise térmica dos diversos elementos e propor soluções de melhoria em comparação às soluções construtivas já existentes.

a) Dados Climáticos do edifício:

O edifício localizado no centro da cidade do Porto, considera-se que se encontra implantado a uma altitude de referência de 94 metros no interior de uma zona urbana. Para se proceder à determinação das zonas climáticas onde o edifício está inserido é necessário determinar o número de graus dias (GD) na base de 18°C correspondente à estação de aquecimento e a temperatura ambiente exterior (θ_{ext}) no local em que se insere.

Através da consulta abaixo indicada, retira-se os dados necessários para se proceder ao cálculo do número de graus dias tendo em conta o zonamento climático do país em que o edifício se insere.

Tabela 5.1 - Valores de referência e declive para ajustes em altitude para a estação de aquecimento (REH).

	z	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G _{Sul}
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	kWh/m ²
	m	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	Por mês
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130

Definidos estes valores pode-se prosseguir ao cálculo do número de graus dias considerando a seguinte expressão:

$$GD = GD_{ref} + a \times (z - z_{ref}) \quad (5.1)$$

Assim sendo:

$$GD = 1250 + \frac{1600}{1000} \times (94 - 94) = 1250 \quad (5.2)$$

Obtendo este valor do número de graus dias, procede-se à definição da zona climática para a estação de aquecimento (Inverno) através da consulta da tabela regulamentar indicada abaixo.

Tabela 5.2 - Critérios para a determinação da zona climática de Inverno (REH).

Critério	GD ≤ 1300 °C.dia	1300 < GD ≤ 1800 °C.dia	GD > 1800 °C.dia
Zona	I1	I2	I3

Observando os intervalos de graus dias impostos pelo regulamento para as diversas zonas, define-se a zona climática para estação de aquecimento como **Zona I1**.

Definida a estação de aquecimento, falta definir a zona para a estação de arrefecimento (Verão) através da consulta da Tabela 5.3 e posterior cálculo.

Tabela 5.3 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento (REH).

	z	$\theta_{ext,v}$		Isol kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
	REF	REF	a	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
	m	°C	°C/km		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Grande Porto	94	20,9	0	80	220	350	490	490	425	490	490	350

Procedendo ao cálculo através da equação 5.3 e da consulta da tabela acima indicada obtém-se:

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v,ref} + a \times (z - z_{ref}) \quad (5.3)$$

$$\theta_{ext,v} = 20.9 + 0 \times (94-94) = 20.9 \text{ °C} \quad (5.4)$$

Obtido este valor, procedemos à consulta da tabela 5.4 onde se irá definir a zona climática para a estação de arrefecimento.

Tabela 5.4 - Critérios para a determinação da zona climática de Verão (REH).

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20 \text{ °C}$	$20 \text{ °C} \leq \theta_{ext,v} \leq 22 \text{ °C}$	$\theta_{ext,v} \geq 22 \text{ °C}$
Zona	V1	V2	V3

Para a estação de arrefecimento a zona climática definida é a zona V2. Pode-se então concluir que o edifício de encontra nas zonas climáticas **I1 - V2**.

5.1.3 Delimitação e caracterização das envolventes

A delimitação de envolventes é uma tarefa muito importante para se prosseguir no estudo térmico de uma fração ou edifício completo. Esta delimitação, será efetuada com recurso a várias cores, tais como, no caso da envolvente em contacto direto com o exterior é representada com a cor vermelha, a envolvente em contacto com espaços não úteis pode ser marcada com recurso a duas cores distintas, ou seja, para espaços em contato com zonas com coeficiente de redução de perdas (btr) igual ou inferior a 0,7 é marcada a cor verde, enquanto espaços em contato com zonas com coeficiente de redução de

perdas (btr) superior a 0,7 a cor escolhida é o amarelo. Para envolventes sem requisitos como por exemplo, de envolventes em contato com o solo ou com habitações adjacentes, a marcação deve ser efetuada a cor azul. Todas estas cores podem ser vistas com maior facilidade conforme indicado na Figura 5.7.

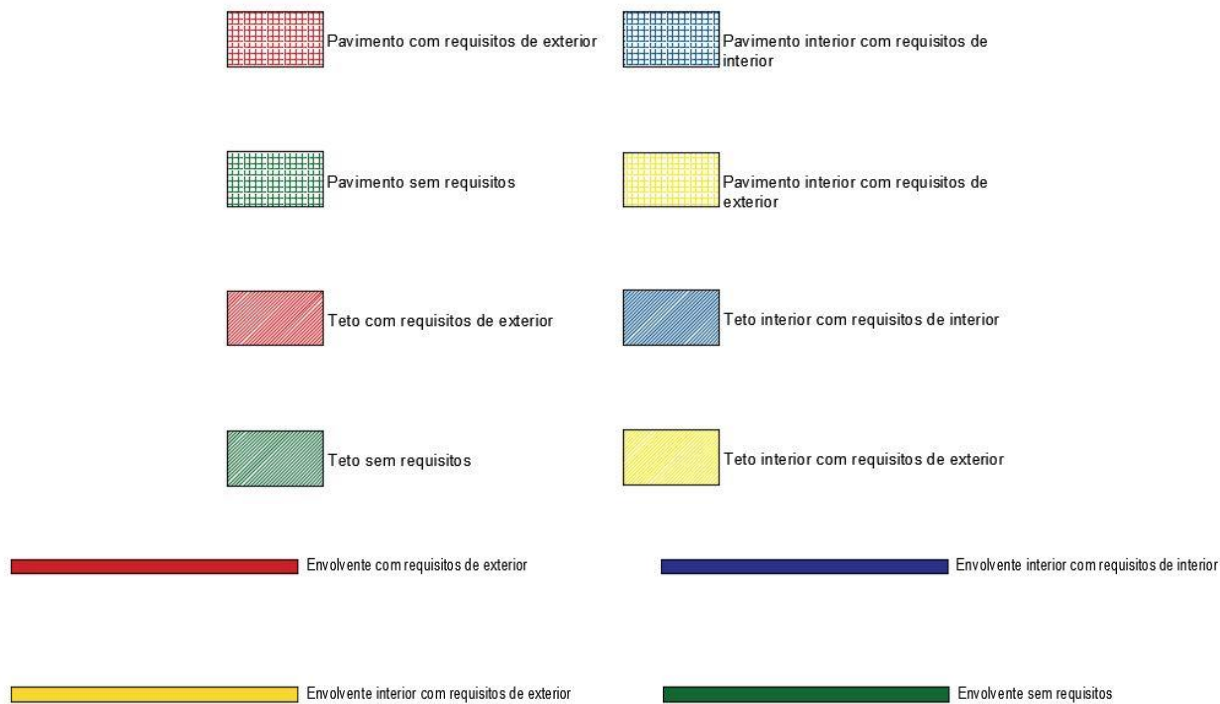


Figura 5.7 – Esquema ilustrativo da marcação das envolventes.

Definido o esquema ilustrativo das envolventes, passa-se ao cálculo do valor do coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis (btr). Este coeficiente é determinado, segundo a legislação, através da razão A_i/A_u e do volume do espaço não útil V_{ENU} . O valor A_i é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil, A_u é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior.

Tabela 5.5 – Determinação do coeficiente de redução btr.

ENU	A_i (m^2)	A_u (m^2)	$\frac{A_i}{A_u}$	$\frac{A_i}{A_u}$	Volume ENU	Volume ENU (m^3)	Ventilação	btr
Zona de Circulação	104.52	8.90	11.74	$A_u \geq 4$	106.80	$50 \leq V_{ENU} \leq 200$	Ventilada	0,8

Na marcação das envolventes na zona de circulação comum e caixa de escadas, a envolvente será marcada a cor amarela e o pavimento em contacto com a fração no piso debaixo será marcada a verde pois não há requisitos entre habitações. Na zona da cozinha e sala que apanha a área do teto do recuado será marcada a cor vermelha pois trata-se de uma envolvente com requisitos de exterior. A nível regulamentar as

envolventes em contacto com edifícios adjacentes têm um coeficiente de redução de perdas equivalente a 0,6 e serão delimitadas a cor azul. Na Figura 5.8 encontra-se descrito a marcação destas envolventes.

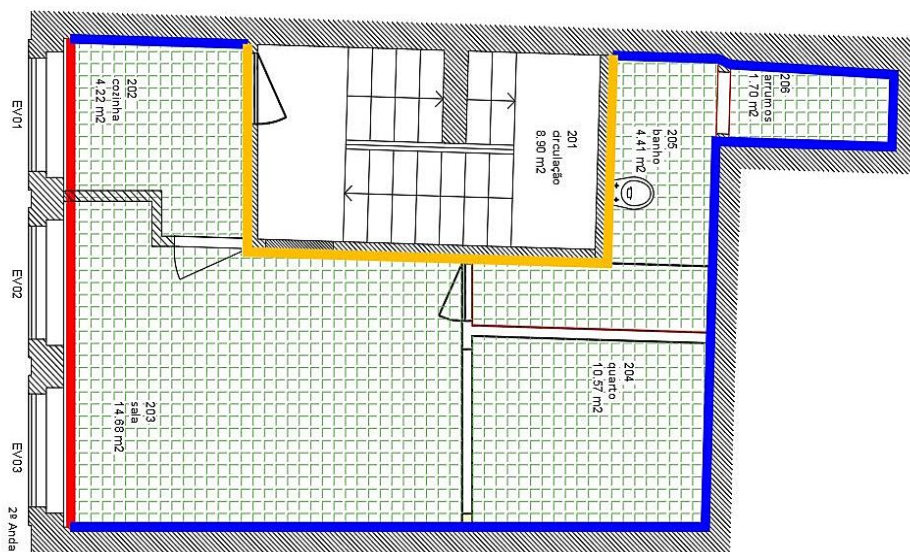


Figura 5.8 – Marcação de envolventes e pavimento.

Na Figura 5.9 estão indicadas as envolventes marcadas acrescentando os requisitos dos tetos, em relação ao recuado e à habitação do 3º andar.

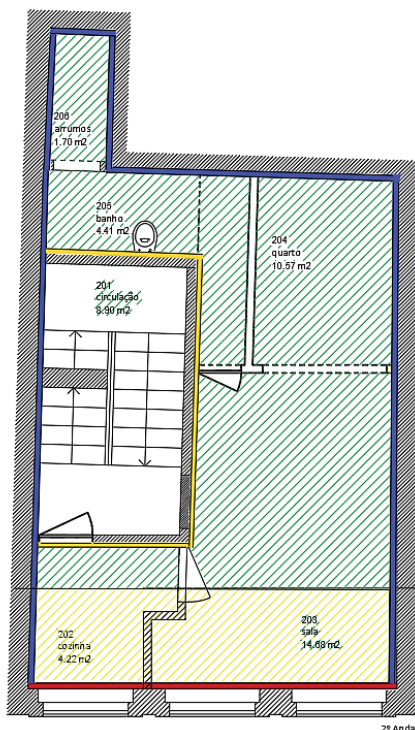


Figura 5.9 - Marcação de envolventes e tetos.

5.2 REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE DAS ENVOLVENTES OPACAS E ENVIDRAÇADOS

A envolvente opaca a fim de cumprir os requisitos regulamentares e de se possibilitar melhores condições de conforto no interior da habitação terá de sofrer diversas alterações, sempre com a preocupação específica de manter a fachada original do edifício intacta. Nos envidraçados a ideia passará por conservar as caixilharias originais devidamente reabilitadas, e acrescentar pelo interior uma caixilharia dupla mais recente que cumpra todos os requisitos necessários. Todas estas alterações serão elaboradas com o intuito da redução significativa dos valores dos coeficientes de transmissão térmica.

As soluções existentes a nível térmico que possam servir com resolução dos problemas de cumprir a regulamentação, por vezes ficam sem efeito, ainda mais quando estamos perante um edifício em zona de reabilitação urbana. Soluções como palas de sombreamento, estores pelo exterior, isolamento térmico pelo exterior, alteração do tipo de envidraçados, são soluções de carácter inadequado para o caso presente de estudo. A reabilitação térmica e acústica do edifício passará por preconizar soluções estruturais que cumpram a regulamentação vigente e que não prejudiquem de todo a imagem histórica do edifício em questão.

Nesta fase inicial será elaborada uma análise aos elementos opacos e envidraçados existentes a fim de se entender o quão grave se encontra a nível de requisitos mínimos de qualidade.

5.2.1 Envolvente opaca

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH), quando se desconhece a verdadeira constituição das soluções construtivas há que proceder a várias simplificações.

Tabela 5.6 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria ou cantaria aparelhada (granito), sem rebocos (e com $R_{se} + R_{si} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}$). [18]

Espessura da alvenaria (m)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
U [W/(m ² ·°C)]	3.70	2.90	2.40	2.10	1.80

No edifício em estudo a nível da parede exterior de fachada que será designada de PE01, a sua composição passa por uma parede simples de alvenaria de granito com uma espessura média de 0.40 m, orientada a Este, com uma constituição apenas da própria alvenaria de granito com um coeficiente de condutibilidade térmica de 2.90 W/(m·°C), e na face interior e exterior, encontra-se revestida com reboco com espessura média de 0.05 m tendo uma condutibilidade térmica de 0.80 W/(m·°C).

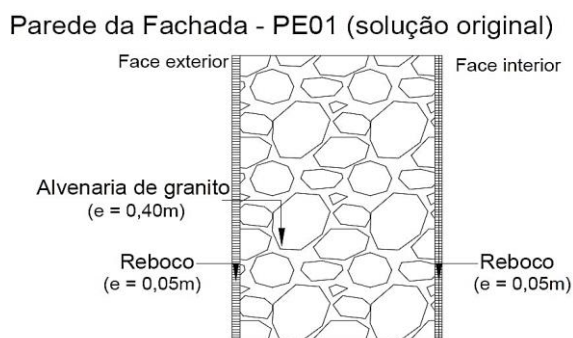


Figura 5.10 - Esquema da solução original construtiva da parede exterior PE01.

Na tabela seguinte apresenta-se uma síntese do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior de fachada PE01, onde se procede à verificação do valor obtido com o valor imposto pelo coeficiente de transmissão térmica de referência - U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].

Tabela 5.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede da fachada PE01.

PE 01	Elemento	Espessura [m]	λ	R_t ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
	Reboco ext. (argamassa bastarda)	0.05	0.80	0.062
	Alvenaria de granito existente	0.40	1/2.90	0.345
	Reboco int. (argamassa bastarda)	0.05	0.80	0.062

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total é de:

$$R_{total} = 0.469 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$$

Com a Resistência térmica total consegue-se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica U:

$$U = 2.13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ C)$$

O valor estipulado de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , é de **0.50** $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, pelo que se pode verificar que este elemento construtivo não cumpre com larga deficiência os requisitos mínimos de qualidade sendo necessário intervir devidamente neste elemento, mas tendo sempre em conta que por se encontrar numa zona histórica não podemos considerar a aplicação de isolamento pelo exterior, visto que iria causar alterações não permitidas na arquitetura da fachada. Na separação entre as zonas comuns e a fração em estudo, há uma parede divisória que será designada de PI01, e é constituída por uma estrutura ligeira formada por prumos verticais de madeira e tabique simples com uma espessura de 0.02 m e reboco em ambas as faces com cerca de 0.02m.

A sua constituição encontra-se representada num esquema estrutural na Figura 5.11.

Parede interior p/ zonas comuns - PI01 (solução original)

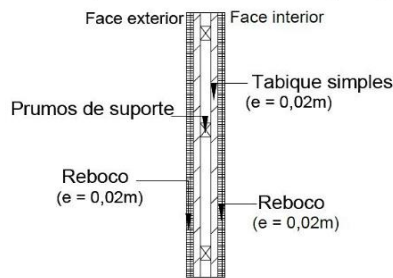


Figura 5.11 - Esquema da solução original construtiva da parede interior PI01.

Na Tabela 5.8 apresenta-se uma síntese do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior de fachada PI01, onde se procede à verificação do valor obtido com o valor imposto pelo coeficiente de transmissão térmica de referência - U_{ref} [W/(m.⁰C)].

Tabela 5.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior com zonas comuns PI01.

PI 01	Elemento	Espessura [m]	λ	R_t (m ² . ⁰ C/W)
	Resistência superficial interior [Rs _i]	-	-	0.13
	Tabique simples	0.02	0.15	0.13
	Reboco pela face da zona comum	0.02	0.80	0.025
	Reboco pela face da habitação	0.02	0.80	0.025
	Resistência superficial interior [Rs _i]	-	-	0.13

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total obtendo-se:

$$R_{total} = 0.440 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Com a resistência térmica total determina-se o valor do coeficiente de transmissão térmica U:

$$U = 2.272 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

O valor estipulado de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , para elementos opacos verticais em contato com espaços btr ≥ 0.7 é de **0.50 W/ (m.⁰C)** portanto este elemento também não cumpre a verificação regulamentar pelo que carece de alteração construtiva de forma a garantir o seu cumprimento. Na zona mais próximo da fachada tem-se uma pequena zona com cobertura exterior que dá forma ao recuado no 3º piso, e a habitação em estudo, assume perdas por essa zona pelo que carece de estudo.

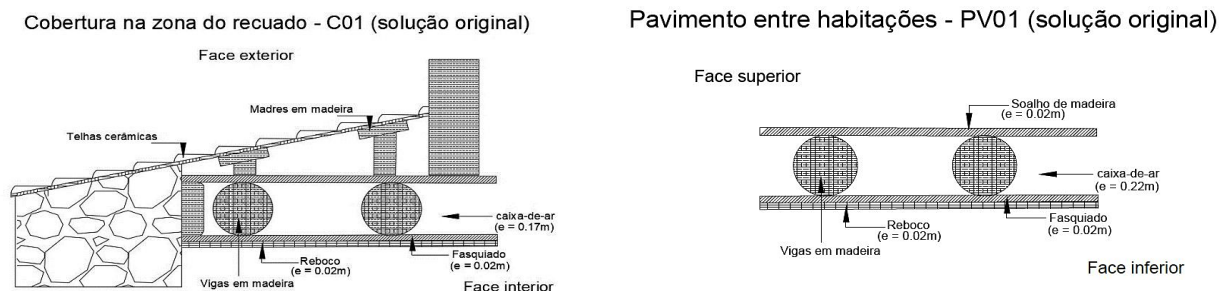


Figura 5.12 - Esquema da solução original construtiva da cobertura na zona do recuado C01 e solução original de pavimentos.

Estas zonas antigamente eram zonas muito condutoras de temperatura, portanto trata-se de uma zona que não irá obter bons resultados a nível de transmissão térmica como poderá verificar na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura C01.

C01	Elemento	Espessura [m]	λ	Rt (m ² .°C/W)	Rt ascendente (m ² .°C/W)	Rt descendente (m ² .°C/W)
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17
	Reboco (arg. bastarda)	0.02	0.80	0.025	-	-
	Tabique simples pela face interior	0.02	0.15	0.13	-	-
	Espaço de ar	0.17	-	0.18	-	-
	Tabique simples pela face exterior	0.02	0.15	0.13	-	-
	Resistência superficial exterior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total é:

$$R_{total} = 0.665 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W (ascendente)}$$

$$R_{total} = 0.805 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W (descendente)}$$

Com a resistência térmica total consegue-se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica U, que se obtêm o valor de:

$$U_{asc} = 1.50 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{°C)};$$

$$U_{desc} = 1.24 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{°C)}$$

O valor que consta no REH de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , para elementos opacos horizontais em contato com o exterior para a zona climática I1 é de **0.40 W/ (m².°C)**, ou seja, este elemento também não cumpre a verificação regulamentar.

Entre habitações, segundo o regulamento, considera-se não haver trocas de calor, no entanto não dispensa uma breve análise com o objetivo depois de obter uma solução de melhoria tanto a nível térmico como acústico.

Na Figura 5.12 observa-se um esquema estrutural do pavimento existente, que se revela uma solução extremamente ligeira e fora de contexto para os regulamentos atualmente em vigor.

Tabela 5.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior PV01.

PV01	Elemento	Espessura [m]	λ	Rt (m ² .°C/W)	Rt ascendente (m ² .°C/W)	Rt descendente (m ² .°C/W)
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17
	Reboco	0.02	0.80	0.025	-	-
	Tabique simples pela face interior	0.02	0.15	0.13	-	-
	Espaço de ar	0.17	-	0.18	-	-
	Soalho	0.02	-	0.087	-	-
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total tem o valor de:

$$R_{\text{total (ascendente)}} = 0.622 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$R_{\text{total (descendente)}} = 0.762 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Com a resistência térmica total consegue-se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica U, obtendo-se:

$$U_{\text{ascendente}} = 1.61 \text{ W/ (m} \cdot \text{°C)}$$

$$U_{\text{descendente}} = 1.31 \text{ W/ (m} \cdot \text{°C)}$$

Segundo o regulamento, entre habitações não há requisitos mínimos a cumprir, no entanto, esta análise permite perceber a débil qualidade dos pavimentos a nível térmico, entendendo-se por bem estes pavimentos serem alvo de uma correção e melhoria estrutural.

5.2.2 Inércia e massa superficial dos elementos da fração em estudo

A inércia térmica está diretamente relacionada com a transferência de calor entre o ambiente externo e o interno. Quanto melhor for a inércia de uma habitação mais probabilidade tem de se assegurar o conforto térmico no interior da mesma. A inércia térmica traduz-nos a capacidade do edifício de absorver parte da temperatura incidente e preservar a temperatura interior o mais estável possível.

A análise da inércia térmica é avaliada após realização do cálculo da massa superficial útil (MS_i). Este coeficiente de massa corresponde à resistência térmica de cada material de cada solução construtiva.

Esta análise será feita para a habitação com as soluções existentes e para a habitação com as soluções de melhoria a adotar, estipuladas neste trabalho.

Tabela 5.11 - Determinação da inércia térmica.

Tipo de solução	Área (m ²)	$MS_{i\text{ total}}$ (kg/m ²)	$MS_{i\text{ máximo}}$ (kg/m ²)	r_i	$A \times MS_i \times r_i$
Par. Ext. PE01	3.69	1430	150	1	553.50
Cobert. Ext. C01	5.52	207.17	150	1	828.00
Par. p/ Cx. Escadas PI01	26.67	132	150	1	3520.44
Par. p/ Edf Adj PI02	60.78	1430	150	1	9117.00
Par. Compartimentação	26.07	132	150	1	3441.24
Pavimento entre habitações	35.58	50	150	1	1779.00
Valor total ($A \times MS_i \times r_i$)					19239.18
Área útil pav (m ²)					35.58
I_t (kg/m ²) = Total/ A_{pv}					540.73

Obtido o valor da Inércia, procede-se à consulta da Tabela 5.12:

Tabela 5.12 – Classe de inércia térmica, I_t .

Classe de inércia térmica	I_t (kg/m ²)
Fraca	$I_t \leq 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t \geq 400$

Como $I_t \geq 400$, a fração possui uma **Inércia térmica forte**.

5.2.3 Envoltente envidraçada

A fração é constituída por 3 vãos envidraçados orientados a Este como se pode verificar na Figura 5.13 - Envoltente envidraçada da fração em estudo.

Os envidraçados são constituídos por uma caixilharia de madeira de cor escura, com abertura de guilhotina, composta por vidro simples em ladrilho com proteção solar interior em portadas opacas de cor clara. Trata-se de uma solução de inércia muito fraca a nível térmico, e que também irá ter de ser solucionada através de uma solução adequada.



Figura 5.13 - Envoltente envidraçada da fração em estudo.

Segundo a legislação em vigor os envidraçados que possuam uma área superior a 5% da área de pavimento do compartimento que seja servido por estes e, tendo em especial atenção aos que não sejam orientados a Norte, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção segundo os seguintes parâmetros:

Se $A_{env} \leq 15\% A_{pav}$:

$$g_T * F_o * F_f \leq g_{Tmax} \quad (5.5)$$

Se $A_{env} > 15\% A_{pav}$:

$$g_T * F_o * F_f \leq g_{T_{max}} * \frac{0,15}{\frac{A_{env}}{A_{pav}}} \quad (5.6)$$

Todos estes fatores são necessários ao cálculo final de um coeficiente de transmissão térmica. A eficiência de um envidraçado depende diretamente do tipo de vidro utilizado e em que caixilharia é instalado.

Os fatores de sombreamento também são um dado vital para o bom equilíbrio térmico do envidraçado na estação de arrefecimento, que quando os meios de sombreamento exteriores são ausentes irá haver muito mais temperatura dentro da habitação na altura de incidência mais forte da radiação solar.

Segundo o REH os parâmetros indicados nas Equações (5.5) e (5.6), tem as seguintes definições:

g_T - Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis, totalmente ativados;

$g_{T_{max}}$ - Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados;

F_o - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, integrando palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício;

A_{env} - Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento [m²];

A_{av} - Área de pavimento do compartimento servido pelo vão envidraçado [m²].

Na planta abaixo indicada, segue a atribuição dada de livre arbítrio aos envidraçados para se tornar mais simples indicá-los nos diferentes cálculos.

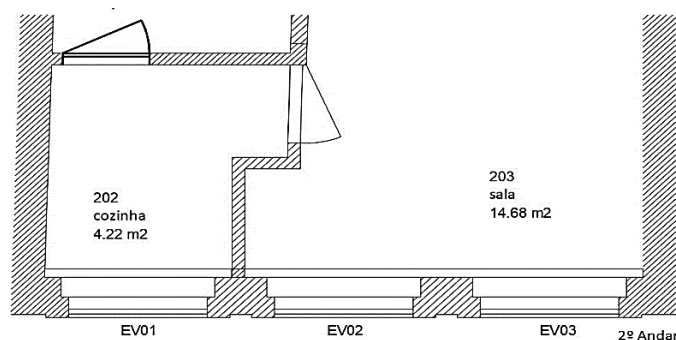


Figura 5.14- Designações atribuídas aos envidraçados em estudo.

Como se pode observar na planta os envidraçados encontram-se todos orientados para a mesma zona, e são todos de geometria idêntica. Na Tabela 5.13 encontra-se explicitado todos estes dados de cada envidraçado.

Tabela 5.13 – Descrição de área e respetiva orientação dos envidraçados.

Envidraçados		
Designação	Área (m2)	Orientação
EV01	4.30	Este
EV02	4.30	Este
EV03	4.30	Este

Cada envidraçado serve uma determinada área. O envidraçado EV01 serve o compartimento da cozinha, enquanto os envidraçados EV02 e EV03, servem o compartimento da sala e o compartimento do quarto que se encontram separados no espaço, mas sem uma barreira física explícita, ou seja, pode-se considerar que não existe uma barreira como uma parede, para que se possam considerar compartimentos distintos. Para melhor explicitar a zona de influência que cada envidraçado serve, optou-se por assinalar na planta para facilitar a visualização. Irá proceder-se primeiro à análise do envidraçado EV01:

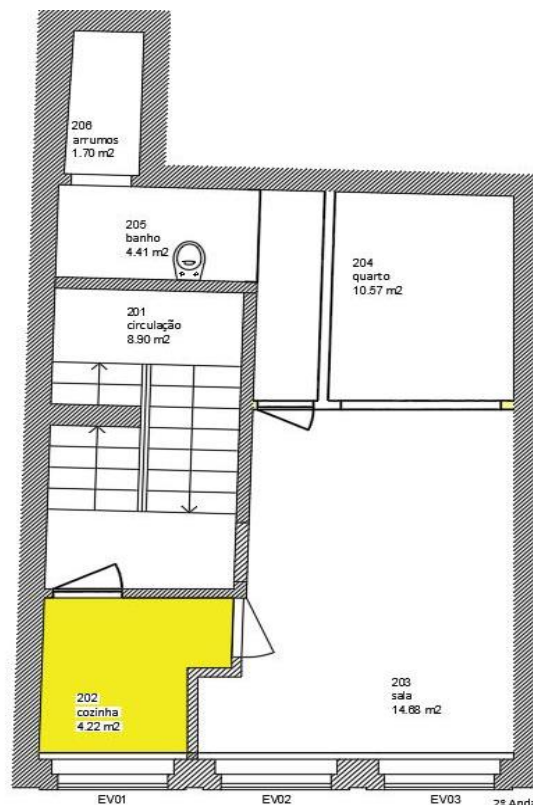


Figura 5.15 – Compartimento servido pelo envidraçado EV01.

$$A_{env} = 4.30 \text{ m}^2$$

$$A_{pav} = 4.22 \text{ m}^2$$

$$15\% \times A_{pav} = 0.633 \text{ m}^2 \quad (5.7)$$

Portanto a área do envidraçado é superior a $15\% \times A_{pav}$, logo aplica-se a Equação (5.5).

De seguida procede-se à análise dos envidraçados EV02 e EV03 em conjunto visto que, como já foi referido, servem os dois os mesmos compartimentos.

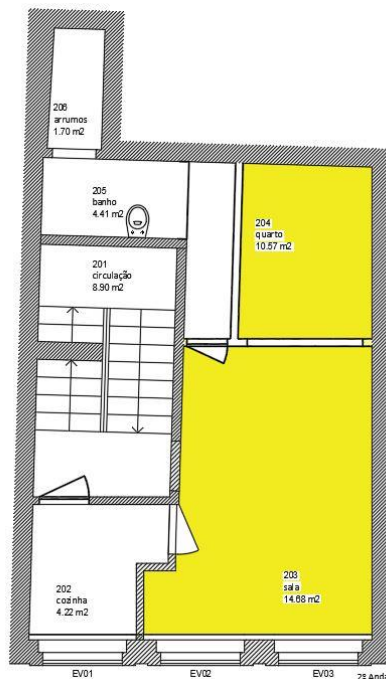


Figura 5.16 - Compartimentos servidos pelos envidraçados EV02 e EV03.

$$A_{env} = 4.30 \text{ m}^2 + 4.30 \text{ m}^2 = 8.60 \text{ m}^2 \quad (5.8)$$

$$A_{pav} = 14.68 \text{ m}^2 + 10.57 \text{ m}^2 = 25.25 \text{ m}^2 \quad (5.9)$$

$$15\% \times A_{pav} = 3.79 \text{ m}^2 \quad (5.10)$$

Portanto a área do envidraçado é superior a $15\% \times A_{pav}$, logo aplica-se a Equação (5.5).

Dado que o edifício se situa numa zona climática para a estação de arrefecimento do tipo V2 e possui uma inércia térmica média, através da consulta da Tabela 5.11 pode-se concluir que o fator solar global máximo assume um valor de 0.10.

Tabela 5.14 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados. [REH]

g_{Tmax}	Zona Climática		
	V1	V2	V3
Fraca	0.15	0.10	0.10
Média	0.56	0.56	0.50
Forte	0.56	0.56	0.50



Obtido este valor do fator solar máximo, segue-se o cálculo de sombreamentos provocados por palas horizontais ou verticais incluindo os edifícios na envolvente do edifício em estudo. No caso do edifício em estudo não possui quaisquer elementos de sombreamento. O sombreamento existente é dado pelos edifícios envolventes e considera-se segundo o regulamento por defeito um $\alpha h = 45^\circ$, e pode-se considerar as reentrâncias dos envidraçados nas cantarias que irá sempre ter algum ângulo que permita uma quantidade pequena de sombra.

Na Figura 5.17 pode-se verificar a explicitação dos ângulos tirados aos envidraçados através de um corte da fração em estudo.

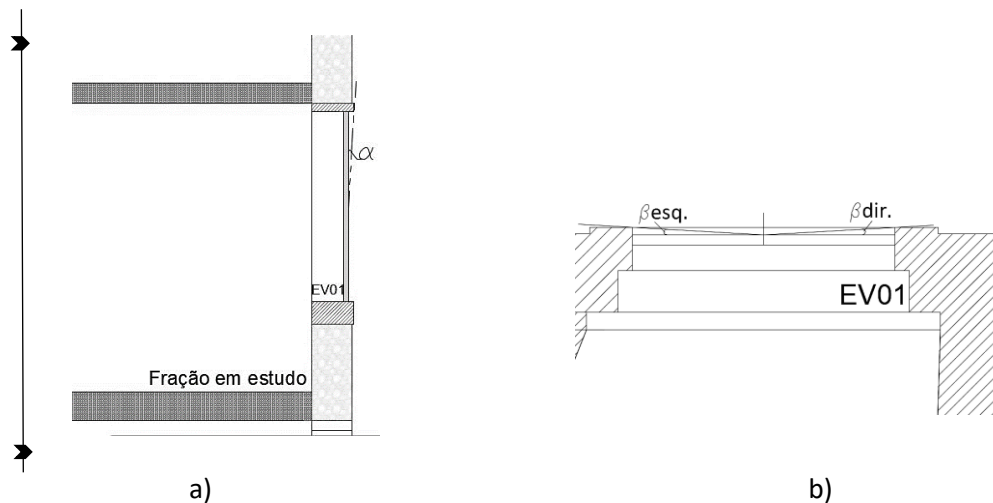


Figura 5.17 – Descrição dos ângulos de sombreamento; a) Ângulo de sombreamento causado por elementos horizontais [Fh]; b) Ângulo de sombreamento causado por elementos verticais [Ff].

De seguida em jeito de sintetizar informação, são apresentados estes valores na Tabela 5.15, onde também se encontra determinado o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados na solução original existente.

Tabela 5.15 - Determinação dos ângulos formados por palas horizontais e verticais.

Envidraçado	Orientação	α_h	α	$\beta_{esq.}$	$\beta_{dir.}$	U_w^*	U_n^{**}	U_{wdn}	U_{ref}
EV01	Este	45°	4°	3°	3°	3.90	2.08	2.99	2,80
EV02	Este	45°	4°	3°	3°	3.90	2.08	2.99	2,80
EV03	Este	45°	4°	3°	3°	3.90	2.08	2.99	2,80

*valor retirado do ITE50 – LNEC.

** valor do vidro com proteção das portadas de madeira ($\Delta r = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C/W}$) – ITE50 – LNEC.

Como podemos verificar, os envidraçados existentes não cumprem os valores de referência em vigor, pelo que também será necessário sofrer uma reabilitação adequada.

Os envidraçados presentes possuem dispositivos de oclusão noturna (portadas de madeira) com média permeabilidade ao ar e são de cor clara.

Posto isto é necessário calcular o fator global dos envidraçados, mas sem antes se determinar os fatores globais de sombreamento que irá servir mais adiante para calcular os ganhos e as perdas pelos envidraçados para elaborar a análise térmica detalhada da fração.

Tabela 5.16 – Valores dos fatores de sombreamento por palas horizontais.

Envidraçado	F_o			
	α	Aquecimento	Arrefecimento	Fator total
EV01	4°	0.98	0.96	0.94
EV02	4°	0.98	0.96	0.94
EV03	4°	0.98	0.96	0.94

Tabela 5.17 - Valores dos fatores de sombreamento por palas verticais.

Envidraçados	F_f									
	Estação de aquecimento					Estação de arrefecimento				
	$\beta_{esq.}$	Fator	$\beta_{dir.}$	Fator	Fator Final	$\beta_{esq.}$	Fator	$\beta_{dir.}$	Fator	Fator Final
EV01	3°	1	3°	0.99	0.99	3°	0.99	3°	0.99	0.98
EV02	3°	1	3°	0.99	0.99	3°	0.99	3°	0.99	0.98
EV03	3°	1	3°	0.99	0.99	3°	0.99	3°	0.99	0.98

Com os valores acima descritos, pode-se concluir que para os envidraçados EV01, EV02 e EV03 o fator total de sombreamento por palas verticais toma o valor de $F_f=0.97$.

Com estes fatores determinados procede-se ao cálculo dos fatores solares dos envidraçados verificando sempre se cumprem os fatores solares máximos impostos pelo regulamento.

Tabela 5.18 - Verificação do fator solar global dos vãos envidraçados.

Vão envidraçado	g_T	F_o	F_f	$g_{T_{max}}$
EV01	0.85	0.94	0.97	0.56
EV02	0.85	0.94	0.97	0.56
EV03	0.85	0.94	0.97	0.56

Para determinar o fator solar dos envidraçados existentes usa-se a equação (5.5) e obtém-se:

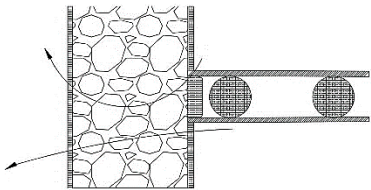
$$0.30 \times 0.94 \times 0.97 = 0.27 \leq 0.56 - \text{Verifica!} \tag{5.11}$$

Os envidraçados cumprem esta verificação regulamentar, como condutibilidade térmica e acústica em comparação com os valores de referência possuem um funcionamento obsoleto, sendo que mais à frente neste trabalho será apresentada uma solução otimizada para estes envidraçados.

5.2.4 Cálculo das pontes térmicas lineares

As pontes térmicas lineares são zonas onde há maior tendência de ocorrerem trocas de calor entre o ambiente exterior e o ambiente interior, sendo nesta zona onde há maior concentração de fluxo térmico. Estas trocas de calor originam uma zona mais fria na superfície do elemento pela face interior, e em conjunto com uma ventilação desadequada dos compartimentos poderão surgir condensações internas que posteriormente irão causar humidades e aparecimento de possíveis eflorescências. Estes valores foram determinados com recurso à folha de cálculo do *Itecons* da Universidade de Coimbra.

Tabela 5.19 - Pontes térmicas lineares exteriores

Tipo de ligação	B	Ψ	Ψ_{ref}	Esquemas construtivos
Fachada com pavimento intermédio	5.52	0.50	0.50	

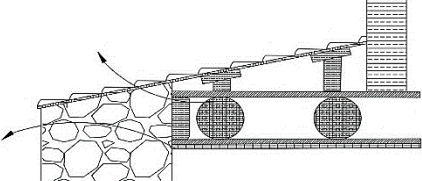
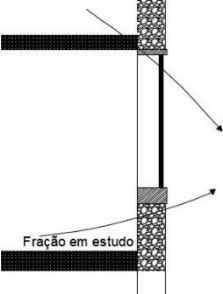
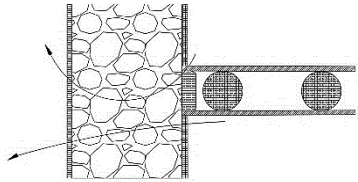
Fachada com cobertura	5.52	1.00	0.50	
Fachada com caixilharia	25.14	0.25	0.20	

Tabela 5.20 - Pontes térmicas lineares interiores

Tipo de ligação	B	Ψ	Ψ_{ref}	Esquemas construtivos
Fachada com pavimento sobre o ENU (zona de circulação comum)	8.98	0.50	0.50	

5.2.5 Determinação da taxa de renovação de ar existente

A renovação do ar interior de uma habitação é de extrema importância dado que, com uma boa renovação de ar assegura-se as boas condições de saúde para os seus utilizadores, assim como se garante a boa durabilidade dos materiais porosos dos elementos construtivos, como por exemplo os rebocos dos tetos e paredes interiores. Uma fraca taxa de renovação de ar, origina condensações internas que irão agravar os problemas de higrometria, e irão surgir fungos e manchas nas zonas das pontes térmicas lineares.

Na presente fração o único sistema de ventilação existente é o da zona da casa de banho, que é ventilada naturalmente através de uma conduta sem qualquer recurso a ventilação mecânica ou outro método de extração. Para se determinar a taxa de renovação horária de ar, e verificar se está nos limites regulamentares indicados tem de se considerar alguns fatores, nomeadamente a localização da fração, envolvente em que se insere e a altura a que está implantada, assim como os obstáculos que a circundam que afetam a circulação de ar no local, como se pode verificar na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Dados informativos do local e da fração para cálculo da ventilação.

Região	Rugosidade	H local [m]	H edifício [m]	H fração [m]	H edf em frente [m]	Dist ao edifício [m]
A	I	94.00	11.50	9.00	12.60	7.30

Pelos envidraçados que são de fraca qualidade também há sempre uma ligeira taxa de renovação de ar, que em conjunto com a ventilação da casa de banho criam zonas de corrente de ar, onde haverá renovação do ar interior.

O cálculo desta taxa de renovação de ar é realizado com recurso a folha de cálculo da Itecons, e pode-se observar todo o seu preenchimento em detalhe em anexo neste trabalho. O valor de referência regulamentar é de 0.40 R_{ph} e o valor obtido para a nossa fração no seu estado original é de 0.62 R_{ph}, portanto verifica os requisitos mínimos.

Na Figura 5.18 é possível observar um esquema que simula a ventilação da fração em estudo que a folha de cálculo nos fornece juntamente com os cálculos.

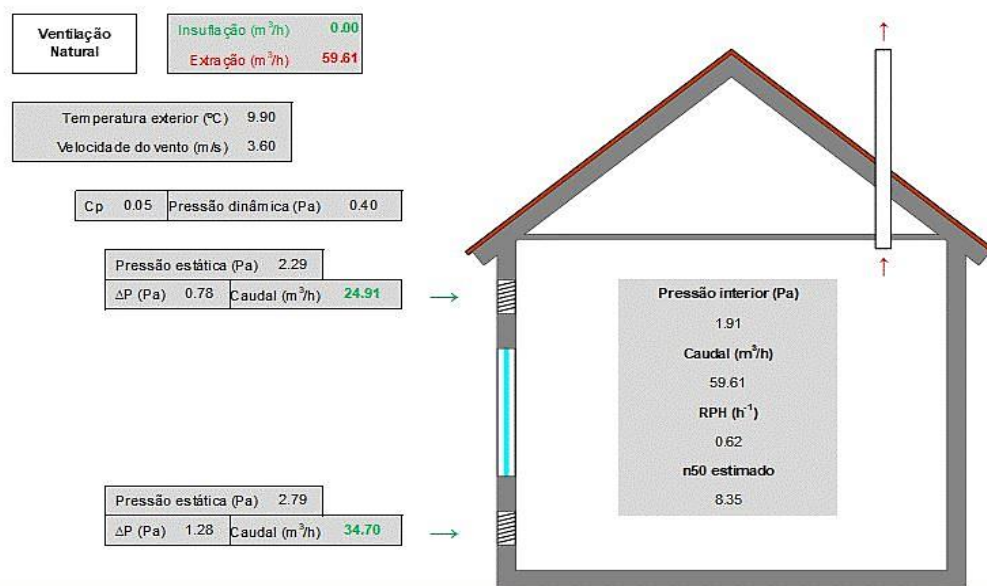


Figura 5.18 - Esquema de simulação da ventilação da fração em estudo.

5.2.6 Aquecimento das águas sanitárias (AQS)

Na fração em análise para se concluir o processo de estudo térmico e energético é necessária uma breve análise ao sistema de aquecimento das águas, sendo este efetuado com recurso a um sistema de esquentador a gás propano, com capacidade para 40 litros tendo uma potência térmica estimada em 1.5kW e estimou-se uma eficiência energética de 72%.

5.2.7 Desempenho energético da fração e respetiva classificação

Com recurso à folha de cálculo do REH da *Itecons*, determinou-se as necessidades nominais de energia da fração para se determinar qual a sua classificação energética. Estes dados poderão ser devidamente consultados em anexo neste trabalho.

Tabela 5.22 – Necessidades de energia e respetivas verificações

Necessidades de Energia	Valores determinados	Valores de referência
Nic (kWh/m ² .ano)	142.90	74.17
Nvc (kWh/m ² .ano)	22.88	9,13
Qa (kWh/ano)	1189	1189
Ntc (kWh/m ² .ano)	444.46	234.39

Com estes valores consegue-se obter a classificação energética da fração, através do quociente entre as necessidades nominais de energia primária [Ntc] e o valor de referência para as necessidades de energia primária [Nt].

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (5.12)$$

Após o cálculo deste quociente é necessário consultar a tabela das classificações energéticas presente no REH, para obtenção da letra que representa a classe energética.

$$R_{Nt} = \frac{444.46}{234.39} = 1.90 \quad (5.13)$$

Através da consulta da figura 5.19 verifica-se que a fração obtém uma **classificação energética D**.

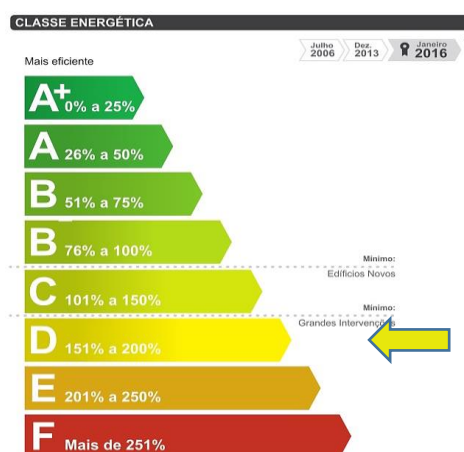


Figura 5.19 – Diagrama de classificação energética. [20]

Através destes valores e da consulta da Figura 5.19, podemos concluir que o edifício necessita de grandes intervenções a nível térmico e de necessidades de energia. Por se tratar de um edifício antigo e rodeado de obstáculos que lhe causam sombreamento, sofre de exceção a nível de regulamento na instalação de energias renováveis na cobertura para o aquecimento de águas sanitárias.

De seguida vão ser apresentadas soluções de melhoria para todos os elementos construtivos de modo a melhorar a eficiência energética do edifício, o conforto para os seus utilizadores e melhorar a salubridade dos compartimentos.

5.3 MEDIDAS DE MELHORIA A IMPLEMENTAR

Após a análise da fração em estudo, e a verificação do estado em que se encontra a nível térmico, energético e acústico, segue-se neste ponto as medidas de melhoria a implementar para melhorar o conforto térmico e acústico da habitação e otimizar o seu desempenho energético.

A nível de elementos construtivos, há muito a melhorar na sua composição e de seguida serão apresentadas as soluções de melhoria que se consideram mais pertinentes e eficazes como os cálculos por si comprovam.

A solução de melhoria para esta parede prevê uma constituição do exterior para o interior: reboco com espessura de 0.05 m, devido a ser uma superfície bastante irregular, tendo uma condutibilidade térmica de $0.80 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, de seguida a própria alvenaria de granito de 0.40m com um coeficiente de condutibilidade térmica de $2.65 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, e pela face interior propõe-se a aplicação de isolante térmico de lã mineral com 0.08 m de espessura e um coeficiente de $0.040 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ e placa dupla de gesso cartonado de 0.026 m de espessura com uma resistência térmica de $0.25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

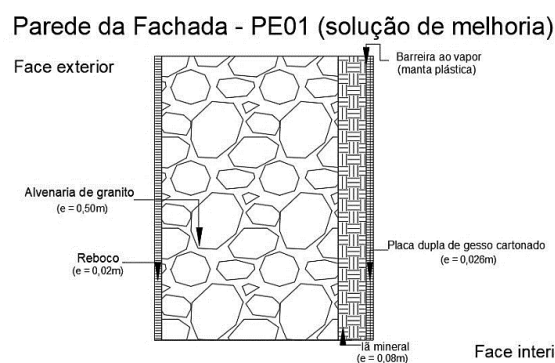


Figura 5.20 - Esquema da solução de melhoria para a parede exterior PE01.

Na Tabela 5.23, estão descritos os diferentes valores característicos de resistência e condutibilidade térmica e análise comparativa da solução obtida com os valores de referência que se encontram no regulamento.

Tabela 5.23 - Cálculo do novo coeficiente de transmissão térmica da parede PE01.

PE 01	Elemento	Espessura [m]	λ	Rt (m ² .°C/W)
	Reboco	0.05	0.80	0.0625
	Alvenaria de granito existente *	0.40	1/2.90	0.345
	Lã mineral ($\rho = 35 - 100 \text{ kg/m}^3$)	0.08	0.040	2.000
	Placa dupla de gesso cartonado	0.026	0.25	0.104

* valor com base na tabela 5.6, que já inclui as resistências superficiais.

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total toma o valor de:

$$R_{\text{total}} = 3.312 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Com a Resistência térmica total determina-se que o novo valor do coeficiente de transmissão térmica U:

$$U = 0.302 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$$

O valor estipulado de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , é de **0.50 W/(m.°C)**, pelo que se pode verificar que este elemento construtivo cumpre os requisitos mínimos de qualidade com grande segurança de valores.

Na parede interior que define a separação entre a habitação em estudo, a zona da caixa de escadas e circulação comum, a proposta passa por demolição total, dado que, o tabique se encontra em muito mau estado e para cumprir os requisitos térmicos e acústico teria de ter uma espessura muito considerável, o que iria prejudicar a área útil da fração.

A solução de melhoria consiste na construção de uma nova parede constituída da zona comum para a habitação por: placa dupla de gesso cartonado com espessura de 0.026m tendo uma condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C), aplicação de isolamento termo acústico de lã mineral de rocha com 0.08m de espessura com uma condutibilidade térmica de 0.040 W/(m.°C) revestida com placa dupla de gesso cartonado de 0.026m de espessura com uma condutibilidade térmica de 0.25 W/(m.°C).

Na Figura 5.21 pode-se observar esta solução esquematizada, justificando-se o uso de lã mineral no lugar de um possível isolamento em poliestireno, dado que entre zonas de estar e quartos com circulações comuns há um limite regulamentar acústico a cumprir e a lã de rocha é um material que nos permite cumprir essa verificação.

Parede interior p/ zonas comuns - PI01 (solução de melhoria)

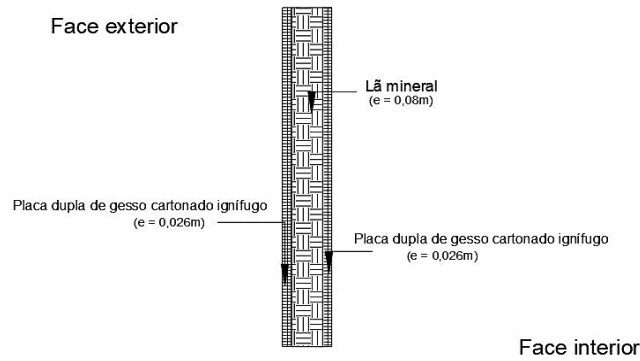


Figura 5.21 - Esquema da solução de melhoria para a parede interior com as zonas comuns PI01.

De seguida demonstra-se os cálculos do coeficiente de transmissão térmica para esta parede com a solução de melhoria implementada.

Tabela 5.24 - Cálculo do novo coeficiente de transmissão térmica da parede PI01.

PI 01	Elemento	Espessura [m]	λ	Rt (m ² .°C/W)
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	0.13
	Placa dupla de gesso cartonado ignífugo	0.026	0.25	0.10
	Lã mineral ($\rho = 35 - 100 \text{ kg/m}^3$)	0.08	0.040	2.00
	Placa dupla de gesso cartonado ignífugo	0.026	0.25	0.10
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	0.13

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total é de:

$$R_{\text{total}} = 2.46 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Com a Resistência térmica total consegue-se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica U, tomando o valor:

$$U = 0.41 \text{ W/ (m} \cdot \text{°C)}$$

O valor estipulado de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , para elementos opacos verticais em contato com espaços não úteis de $b_{tr} \geq 0.7$ é de **0.50 W/ (m.°C)** portanto este elemento já cumpre a verificação regulamentar.

Uma breve nota quanto ao tabique original da parede existente, para evitar tornar o tabique como resíduo e perder os valores tradicionais, o tabique retirado poderá ser devidamente tratado para usar como revestimento numa parede à escolha interior, para decorar um compartimento.

A cobertura na zona do recuado também não cumpria os requisitos mínimos, ou seja, carece de alterações estruturais para verificar os valores regulamentares. A proposta de melhoria segue na figura 5.22, onde se optou por acrescentar pelo interior, lã mineral com espessura de 10 cm apoiado no teto falso em gesso cartonado colocar pela face interior.

Cobertura na zona do recuado - C01 (solução de melhoria)

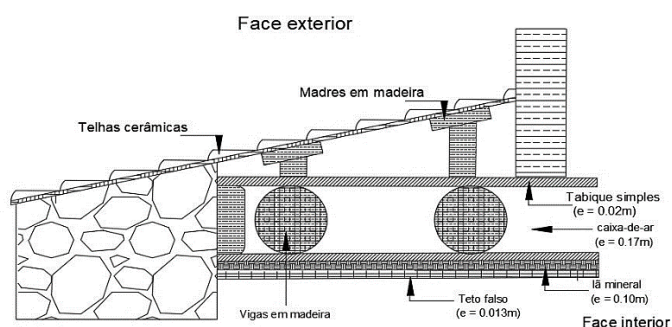


Figura 5.22 - Esquema da solução de melhoria para a cobertura na zona do recuado C01.

De seguida na Tabela 5.25 calculam-se de novo os elementos para se obter o coeficiente de transmissão térmica da nova solução para a cobertura exterior.

Tabela 5.25 - Cálculo do novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior C01.

C01	Elemento	Espessura [m]	λ	Rt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Rt ascendente ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Rt descendente ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17
	Teto falso em gesso cartonado	0.013	0.25	0.052	-	-
	Lã mineral ($\rho = 35 - 100 \text{ kg/m}^3$)	0.10	0.040	2.50	-	-
	Espaço de ar	0.17	-	0.18	-	-
	Tabique simples pela face exterior	0.02	0.15	0.13	-	-
	Resistência superficial exterior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17

Com os valores acima indicados determina-se que a resistência térmica total é de:

$$R_{total} = 3.062 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \text{ (ascendente)}$$

$$R_{total} = 3.202 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \text{ (descendente)}$$

Com a resistência térmica total consegue-se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica U:

$$U_{asc} = 0.33 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}); U_{desc} = 0.31 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

O valor que consta no REH de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , para elementos opacos horizontais em contato com o exterior para a zona climática I1 é de **0.40 W/ (m.°C)**, ou seja, este elemento passa a cumprir a verificação regulamentar.

Passando agora à solução de melhoria do pavimento entre habitações, a única alteração a realizar será a aplicação de um isolante termo acústico, lã mineral, de espessura de 0.05m com uma condutibilidade térmica de 0.040 W/m.°C, e um teto falso em gesso cartonado de dupla folha com espessura de 0.026m e condutibilidade térmica de 0.25W/m.°C.

Pavimento entre habitações - PV01 (solução de melhoria)

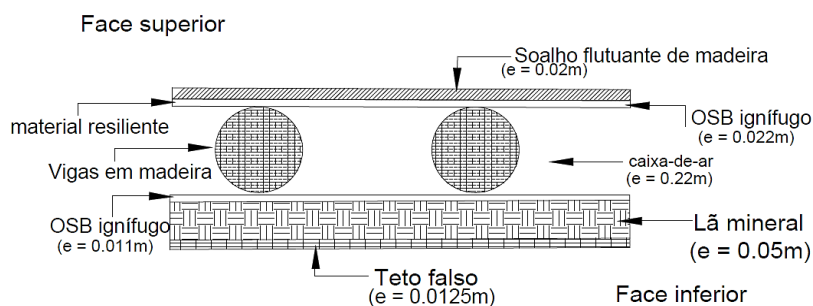


Figura 5.23 – Esquema estrutural da solução de melhoria do pavimento entre habitações PV01.

O cálculo desta nova solução está descrito na Tabela 5.26, onde se irá observar uma grande alteração do coeficiente de transmissão térmica de modo a cumprir o requisito mínimo de referência.

Tabela 5.26 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior PV01.

PV01	Elemento	Espessura [m]	λ	Rt (m ² .°C/W)	Rt ascendente (m ² .°C/W)	Rt descendente (m ² .°C/W)
	Resistência superficial interior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17
	Teto falso	0.0125	0.25	0.05	-	-
	Lã mineral ($\rho = 35 - 100 \text{ kg/m}^3$)	0.05	0.040	1.25		

OSB ignífugo pela face superior	0.022	0.12	0.18	-	-
Espaço de ar	0.17	-	0.18	-	-
OSB ignífugo pela face inferior	0.011	0.12	0.092	-	-
Soalho flutuante	0.02	-	0.087	-	-
Resistência superficial interior [RSi]	-	-	-	0.10	0.17

Com os valores acima indicados determina-se a resistência térmica total:

$$R_{\text{total (ascendente)}} = 2.039 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{total (descendente)}} = 2.179 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$$

Com a Resistência térmica total consegue-se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica U:

$$U_{\text{ascendente}} = 0.49 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{C})$$

$$U_{\text{descendente}} = 0.46 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{C})$$

O valor de referência do coeficiente de transmissão térmica de referência U_{ref} , para elementos opacos horizontais em contato com o exterior para a zona climática I1 é de **0.70 W/ (m.°C)**, ou seja, este elemento também cumpre a verificação regulamentar.

Na envolvente envidraçada, com o intuito de manter a fachada a nível exterior o mais original possível, a proposta de solução de melhoria passa por se manter as janelas já existentes e colocar pelo interior uma caixilharia de alumínio com corte térmico, passando a fração a dispor de caixilharia de vão duplo. Esta segunda caixilharia vai permitir à fração melhorar muito em termos de entrada de ar que poderia causar desconforto aos utilizadores da fração, assim como a nível acústico que irá permitir obter-se uma maior resistência à transmissão de sons aéreos, que mais à frente neste trabalho será analisada essa situação. Na figura 5.24 consegue-se observar a solução de abertura entre as duas caixilharias em conjunto com as portadas interiores. A caixilharia existente é do tipo guilhotina, ou seja, não necessita de raio de abertura. A caixilharia a instalar tem de ser do tipo de abertura com um ângulo de 180°, para permitir estarem abertas sem prejudicar o espaço de circulação interior.

De acordo com a consulta do Guia de Termos de Referência [9], na reabilitação urbana adotar uma caixilharia pelo interior em conjunto com a caixilharia existente podemos considerar um coeficiente de transmissão térmica de $U = 2.00 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{C})$ encontrando-se dentro do valor de referência que toma o valor de **$U_{\text{ref}} = 2.80 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{C})$** .

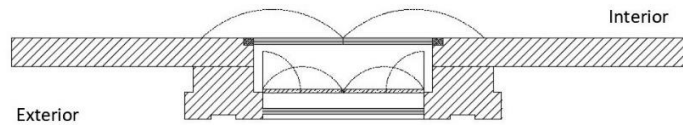


Figura 5.24 – Esquema estrutural de dupla caixilharia com portadas existentes.

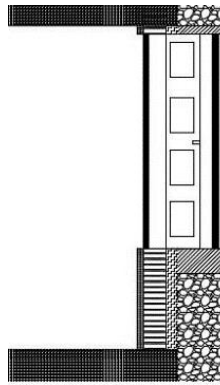
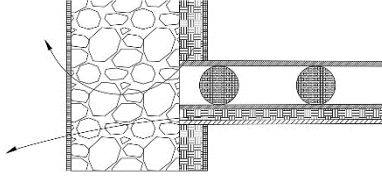
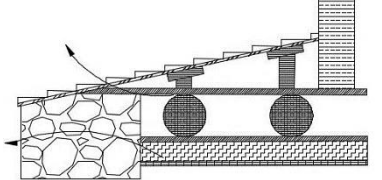


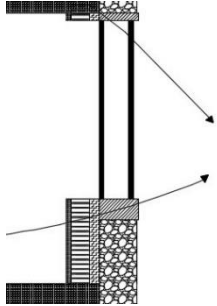
Figura 5.25 – Corte da solução de caixilharia de duplo vão.

5.3.1 Pontes térmicas lineares nas soluções de melhoria

Com as soluções de melhoria a adotar as pontes térmicas também assumem novos valores, devido à colocação de isolamento pelo interior nos elementos construtivos. Esta variação de valores pode ser observada e analisada na Tabela 5.27. Mais uma vez a determinação destes valores foi feita com recurso à tabela do “Itecons”.

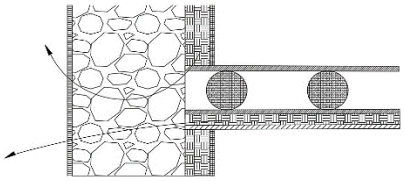
Tabela 5.27 – Pontes térmicas lineares com as soluções de melhoria adotadas.

Tipo de ligação	B	Ψ	Ψ_{ref}	Pormenor construtivo
Fachada com pavimento intermédio	5.52	0.60	0.60	
Fachada com cobertura	5.52	0.10	0.10	

Fachada com caixilharia	25.14	0.10	0.15	
-------------------------	-------	------	------	---

As pontes lineares térmicas interiores obviamente também sofrem alterações como se pode observar na Tabela 5.28.

Tabela 5.28 – Pontes térmicas lineares interiores.

Tipo de ligação	B	Ψ	Ψ_{ref}	Pormenor construtivo
Fachada com pavimento sobre o ENU (zona de circulação comum)	8.98	0.60	0.75	

5.3.2 Desempenho energético da fração após melhorias

A nível de aquecimento de águas sanitárias propõe-se que se altere o equipamento de aquecimento de esquentador a gás propano, para um termoacumulador elétrico com um rendimento superior e com maior economia de energia. A alternativa para o uso de eletricidade para fornecer energia ao termoacumulador justifica-se devido ao facto de não se achar minimamente segura a instalação de gás que a fração possui. A nível de ventilação é proposto que se mantenha as mesmas condições de ventilação natural, dado que cumpre o regulamento e não se considera que haja necessidades extra de ventilação na fração.

Na Figura 5.26 é possível ver o tipo de modelo de termoacumulador a adotar. Trata-se de um termoacumulador da marca Vulcano da gama “PrimeAqua” com volume de 50L que segundo a marca, possui uma eficiência de 90 %.



Figura 5.26 – Termoacumulador da marca Vulcano. [5]

Com estas soluções é possível determinar a nova classe energética da fração em análise, tendo sido obtidos os valores que surgem na Tabela 5.29.

Tabela 5-29 - Necessidades de energia com as soluções de melhoria adotadas

Necessidades de Energia	Valores determinados	Valores de referência
Nic (kWh/m ² .ano)	60.06	170.13
Nvc (kWh/m ² .ano)	34.34	7.61
Qa (kWh/ano)	113.58	96.84
Ntc (kWh/m ² .ano)	207.98	274.58

Com o cálculo do quociente é necessário consultar a tabela das classificações energéticas presente no REH, para obtenção da letra que representa a classe energética.

$$R_{Nt} = \frac{207.98}{274.58} = 0.76 \tag{5.14}$$

Através da consulta da figura 5.27 verifica-se que a fração obtém uma **classificação energética B -**.

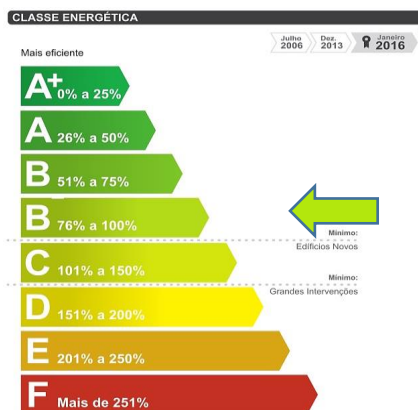


Figura 5.27 – Diagrama de classificação energética. [20]

5.4 ESTUDO ACÚSTICO APÓS INTERVENÇÃO DE MELHORIA

Neste subcapítulo irá ser elaborado um breve estudo do conforto acústico das soluções de melhoria a adotar, para se verificar e garantir que todos os valores regulamentares são cumpridos e que o conforto no interior da fração melhora.

Esta análise de desempenho acústico tem por base a legislação do Decreto-Lei 96/2008, de 9 de junho (RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios) e no Decreto-Lei 9/2007, de 17 de janeiro (RGR - Regulamento Geral do Ruído).

Os edifícios e as suas frações que se destinem a usos habitacionais ou que, para além desse uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão estão sujeitos aos seguintes requisitos acústicos:

Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e quartos ou zonas de estar:

- Zonas mistas ou zonas sensíveis em que na sua proximidade já exista uma grande infraestrutura de transporte, ou uma grande infraestrutura de transporte aéreo ou esteja projetada uma grande infraestrutura de transporte que não aéreo $D_{2,m,nT,w} \geq 33$ dB;
- Zonas sensíveis em que o ruído ambiente exterior não é superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , nem superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador L_n :
 - a) Zonas urbanas consolidadas, desde que essa zona ($D_{2,m,nT,w} \geq 33 + 3$ dB; $D_{2m,nT,w} \geq 28+3$ dB);
 - b) Seja abrangida por um plano municipal de redução de ruído;

Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e quartos ou zonas de estar ($D_{nT,w}$ índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado):

- Entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção) ≥ 50 dB;
- Entre locais de circulação comum (emissão) e quartos de estar de fogos (recepção) ≥ 48 dB;
- Se o local emissor for C. Escadas e se existirem ascensores ≥ 40 dB;

Isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos e quartos ou zonas de estar ($L'_{nT,w}$ índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado):

- Entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção) ≤ 60 dB;
- Entre locais de circulação comum (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (recepção) ≤ 60 dB;
- Entre locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (recepção) ≤ 50 dB.

A nível de ruídos produzidos por sistemas técnicos, tais como, os ascensores, ventilação mecânica ou geradores de emergência não serão considerados para esta análise, visto que o nosso edifício não possui qualquer um destes equipamentos referidos.

Esta análise será realizada por cada tipo de isolamento a garantir e por cada elemento construtivo. As soluções construtivas a considerar serão as indicadas anteriormente no capítulo das soluções de melhoria, considerando os materiais referidos e espessuras totais dos elementos.

5.4.1 Isolamento sonoro para sons de condução aérea

Segundo a Norma EN ISO 717 - parte 1, o critério adotado para efetuar os cálculos do isolamento sonoro entre dois locais adjacentes pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$D_{nT,w} = R_w + 10 \times \log \left(\frac{0.16 \times V}{T_0 \times A_0} \right) - TM \quad (5.15)$$

Em que:

R_w – índice de redução sonora do elemento separador (dB);

T_0 – tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T = 0.5$ s; para compartimentos onde haja um tempo de reverberação atribuível em projeto o valor de referência a considerar será o respetivo tempo de dimensionamento;

A_0 – área do elemento separador (m^2);

V – volume do compartimento recetor (m^3).

TM – transmissões marginais num intervalo de 0 a 7 dB.

O isolamento da fração com a sua envolvente terá de cumprir os seguintes limites para isolamento a sons aéreos:

$D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB - Separação entre exterior e quartos/zonas de estar de um fogo;

$D_{nT,w} \geq 50$ dB - Separação entre habitações diferentes;

$D_{nT,w} \geq 48$ dB - Separação entre zonas comuns e habitações;

Para elementos em que o índice de redução sonora esteja entre os 35 e 45 dB, pode-se considerar, em casos mais correntes, que o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea seja calculado segundo a seguinte expressão:

$$D_{nT,w} = R_w - 2(\text{dB}) \quad (5.16)$$

O valor do índice de redução sonora do elemento separador deve, sempre que possível, ser obtido através de ensaios laboratoriais.

Como, nesta dissertação, não se dispunha dos dados dos ensaios, adotou-se o método Gráfico de Previsão como se pode observar na Figura 5.28.

Este método é utilizado para elementos mássicos, como o tijolo e o betão, e é mais vulgarmente denominado por Lei da Massa e permite deduzir o valor do isolamento sonoro a partir da massa superficial do elemento.

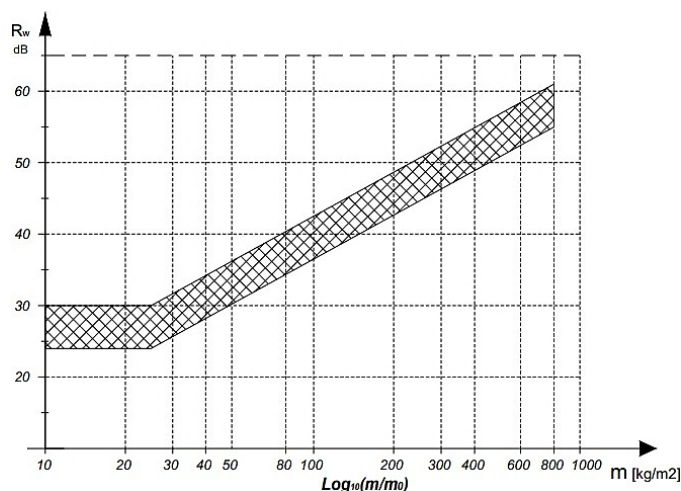


Figura 5.28 - Gráfico de previsão – Lei da massa. [12]

Quando se está perante uma parede de dois panos de alvenaria é necessário recorrer a um gráfico complementar ao da Figura 5.28 e que fornece o valor de redução sonora do elemento mais pesado, sendo necessário fazer um incremento com base no pano mais leve.

Este gráfico complementar é demonstrado na figura 5.29 e deste modo, o índice de redução sonora do elemento separador total ($R_{w,total}$) é o somatório do valor obtido em cada um dos gráficos das Figuras 5.29 e 5.30.

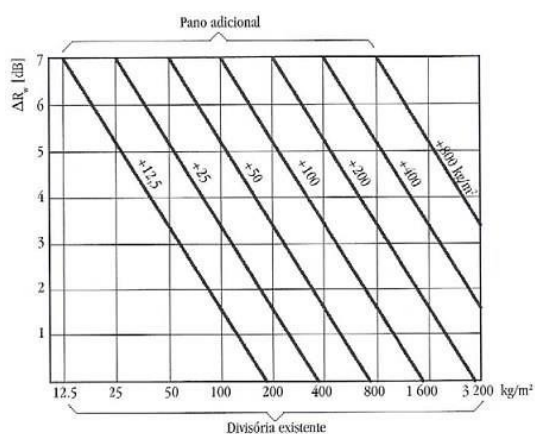


Figura 5.29 – Gráfico de incremento de redução sonora. [12]

No caso da fração em análise a parede da fachada não é homogénea, ou seja, é composta pela envolvente opaca em simultâneo com a envolvente envidraçada. Para se avaliar a resistência sonora

deste elemento é necessário utilizar uma equação que relaciona os índices de cada constituinte da parede para no final se obter o $R_{w,total}$ do conjunto.

$$\tau_{conjunto} = \sum \frac{(10^{-\frac{R_{wi}}{10}} \times S_i)}{(1.26+9.8)} \quad (5.17)$$

$$R_w = 10 \times \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (5.18)$$

A parede de fachada com as soluções de melhoria assume uma espessura média de 0.62 m, e considera-se o elemento opaco pesado a alvenaria de granito em conjunto com os envidraçados.

Dados dos elementos:

Área da parede opaca = 1,275 m²

Área do envidraçado = 9,8 m²

Área total da parede= 11,075 m²

Massa do elemento mais pesado da parede opaca: alvenaria de granito = 1300 kg/m²

Através do gráfico de previsão retira-se o R_w do elemento mais pesado:

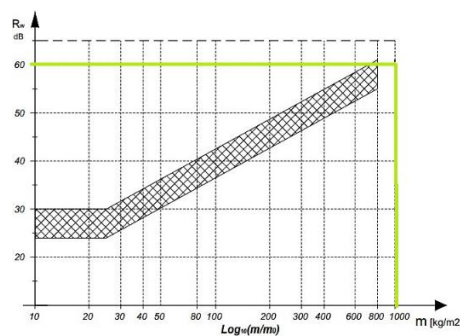


Figura 5.30 – Índice de redução sonora do elemento mais pesado.

Pela leitura do gráfico da Figura 5.30 obtém-se um coeficiente de redução sonora de 60 dB. Do lado interior da parede de fachada tem-se placa dupla de gesso cartonado.

A massa volúmica das placas duplas de gesso cartonado toma o valor de 950 kg/m³, portanto a massa do elemento relacionada com a sua espessura tem o valor de 12.5 kg/m². Com estes dados já é possível determinar o incremento de índice de redução sonora como se pode observar na Figura 5.31.

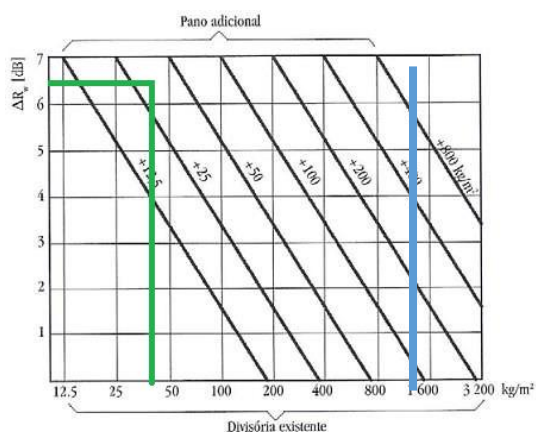


Figura 5.31 – Incremento do coeficiente de redução sonora.

Pela leitura do gráfico da Figura 5.31, verifica-se que ambas as linhas não se intersectam, ou seja, a aplicação adicional do gesso cartonado, não traz vantagem significativa à parede de alvenaria de granito da fachada.

Em síntese obtém-se:

$$R_w = 60 \text{ dB}$$

$$\Delta R = 0 \text{ dB}$$

Com estes dados calcula-se a resistência sonora da parede.

$$R_{w,\text{total}} = R_w + \Delta R = 60 + 0 = 60 \text{ dB} \quad (5.19)$$

Na parede de fachada temos uma grande área de envidraçados constituído por caixilharia dupla e vidro simples de 4 mm que de acordo com os valores de referência, consultados em tabelas de “Sistemas EURO 2000”, e verifica-se que permitem um isolamento de 38 dB aos sons aéreos.

Dado que se trata de um elemento opaco em conjunto com elementos envidraçados é necessário calcular a relação de redução do índice sonoro dos dois elementos em conjunto, como se pode observar na Equação 5.20.

$$T_{\text{conjunto}} = \frac{10^{-\frac{60}{10}} \times 1.275 + 10^{-\frac{38}{10}} \times 9.80}{1.275 + 9.80} = 1.40 \times 10^{-4} \quad (5.20)$$

Determinada a relação dos dois elementos prossegue-se ao cálculo do índice de redução sonora da parede exterior da fachada (as paredes exteriores não têm transmissões marginais).

$$R_{w,\text{med}} = 10 \times \log \left(\frac{1}{1.40 \times 10^{-4}} \right) = 38.50 \text{ dB} \quad (5.21)$$

CAPÍTULO 5

De acordo com a norma EN 12354-1, para valores de $R_w \leq 45$ dB assume-se valor nulo para as transmissões marginais.

A fração possui um volume interior de 96.90 m^3 . Esta parede exterior não possui lã mineral no isolamento, portanto não se integra o acréscimo de redução sonora de 3 dB. O edifício em questão situa-se numa zona urbana consolidada.

No final a parede exterior tem um índice de isolamento a sons aéreos de:

$$D_{nT,w} = 38.50 + 10 \times \log \left(\frac{0.16 \times 96.9}{0.50 \times 11.075} \right) - 0 = \mathbf{41.30 \text{ dB} \geq 33 \text{ dB}} \quad (5.22)$$

A parede exterior verifica o valor regulamentar para isolamento de condução a sons aéreos.

Outro elemento suscetível de análise e cálculo é a parede que divide o espaço interior da fração e as zonas comuns, PI01.

Dados do elemento:

Área da parede opaca = 26.94 m^2

O índice de isolamento sonoro desta parede foi retirado com base no livro de Jorge Patrício [12], onde se obtém um $R_w = 50$ dB.

$$R_{w,\text{total}} = R_w + \Delta R = 50 + 0 = 50 \text{ dB} \quad (5.23)$$

Como esta parede já possui lã mineral na sua composição, não se efetua um incremento de 3 dB para o cálculo do isolamento sonoro a sons aéreos.

$$D_{nT,w} = 50 + 3 + 10 \times \log \left(\frac{0.16 \times 96.9}{0.50 \times 26.94} \right) - 0 = \mathbf{53.6 \text{ dB} \geq 48 \text{ dB}} \quad (5.24)$$

Verifica-se desta forma que a parede PI01 cumpre todos os requisitos acústicos regulamentares.

5.4.2 Isolamento sonoro para sons de percussão

Os sons de percussão são todos aqueles sons que se propagam através de vibrações entre materiais que englobem um contato físico como por exemplo o caminhar em cima de um pavimento intermédio.

O cálculo do isolamento a sons de percussão é realizado através da expressão 5.25:

$$L'_{nT,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w - 10 \times \log \left(\frac{0.16 \times V}{A_o \times T_o} \right) + TM \quad (5.25)$$

Em que:

$L_{n,w,eq}$ – índice de isolamento sonoro a sons de percussão normalizado equivalente.

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \times \log(M) \quad (5.26)$$

ΔL_w – redução da transmissão de sons de percussão devida ao revestimento;

M – massa superficial do elemento separador (kg/m^2);

A_o – área de absorção sonora de referência (usualmente 10 m^2);

T_o – tempo de reverberação de referência em média $T = 0.5 \text{ s}$;

V – volume do compartimento recetor;

TM – transmissões marginais (dB).

Os limites regulamentares a ter em conta para o isolamento a sons aéreos diferem entre habitações ou entre habitação e comércio, sendo respetivamente:

$\leq 60 \text{ dB}$ – separação entre habitações;

$\leq 50 \text{ dB}$ – separação entre habitações e comércio.

No caso da fração em análise, situa-se entre duas habitações pelo que o limite regulamentar a respeitar será: **$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$** .

O elemento construtivo a considerar será a solução de melhoria pavimento PV01, sendo o elemento que divide duas frações destinadas a habitação.

A massa superficial do pavimento a considerar será de $84.00 \text{ kg}/\text{m}^2$, já tendo sido determinada na Tabela 5.11 no capítulo da análise térmica da fração em estudo.

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \times \log(84.00) = 96.80 \text{ dB} \quad (5.27)$$

O pavimento é composto por lâ mineral de rocha considerando-se, segundo o anexo E da Norma EN 12354-2, uma contribuição do revestimento de 33 dB . ($\Delta L_w = 33 \text{ dB}$)

$$L'_{nT,w} = 96.80 - 33 - 10 \times \log\left(\frac{0.16 \times 96.9}{10 \times 0.5}\right) + 0 = \mathbf{57.90 \text{ dB} \leq 60 \text{ dB}}. \quad (5.28)$$

O pavimento intermédio também verifica os valores regulamentares para o isolamento a sons de percussão.

5.5 REABILITAÇÃO DA FACHADA

Neste subcapítulo, que é o tema principal desta dissertação, será elaborada toda a análise de anomalias presentes na fachada do edifício em estudo e as respetivas soluções de reabilitação a adotar.

5.5.1 Parede da fachada

No edifício em estudo a parede de fachada tem um acabamento pintado, já bastante deteriorado, que requer uma repintura total, porém, antes de se abordar esta questão, é necessário avaliar o estado da alvenaria existente e as ligações das argamassas que unem os diferentes agregados da parede.



Figura 5.32 – Fachada do edifício em estudo.

Como se pode observar na Figura 5.32, verificam-se algumas zonas em que há destacamento das argamassas de revestimento, o que nos sugere que se está perante a presença de humidades internas.

Quanto ao estado das argamassas de ligação entre os diferentes blocos de granito da alvenaria, não foi possível determinar, com exatidão, o seu estado, visto que para se obter uma resposta concreta seriam necessárias amostragens e realizar os respetivos ensaios.



Figura 5.33 – Presença de humidade pelo interior da parede exterior de fachada.

Como se pode verificar na Figura 5.33, as evidências de que haveria presença de humidade na parede da fachada, comprova-se pelo lado interior da parede, onde é visível o destacamento da tinta e respetivo reboco, a somar às manchas de eflorescências que aos poucos se vão formando.



Figura 5.34 – Destacamento da argamassa de reboco.

A solução para esta anomalia passa pela remoção total das argamassas presentes na alvenaria de granito, até se atingirem os blocos da alvenaria de granito e, posteriormente, é aconselhado uma lavagem a jato de água ou de areia, para assegurar que todas as impurezas e resíduos das argamassas antigas são removidas.

Tal como já foi referido, não foi possível determinar o estado das argamassas de assentamento, entre os diversos blocos da alvenaria, no entanto, pelo lado da segurança, aconselha-se que previamente a todos os trabalhos de aplicação de rebocos, se execute uma injeção de massa ligante, do tipo calda de cimento para garantir uma melhor consolidação entre os elementos. Esta tarefa deverá ser realizada de baixo para cima sendo interrompida quando se verificar que os vazios estão todos preenchidos.

A injeção irá colmatar todas as zonas de fissuração existentes, garantido maior estanquidade a possíveis infiltrações de água provenientes das intempéries.

Realizada a consolidação da estrutura principal da parede de fachada, pode-se proceder à aplicação das argamassas de reboco e de acabamento, onde se deve sempre garantir uma dosagem de cimento/água adequada e garantir que todos os componentes da argamassa são compatíveis e passíveis de serem aplicados na alvenaria de granito.

Em zonas onde se verifique uma grande extensão de aplicação de argamassa em comprimento e em espessura, é sempre interessante a aplicação de linhas de cizal ou de rede de fibra de vidro que garanta a união entre as argamassas em toda a sua extensão de aplicação.



Figura 5.35 – Rede de fibra de vidro. [5]

A espessura a dar à nova argamassa nunca deverá ultrapassar as esquadrias em cantaria de pedra presentes na fachada em torno dos envidraçados, como se pode ver na Figura 5.36, de modo a preservar toda a traça original do edifício da época.



Figura 5.36 – Esquadrias em cantaria nos envidraçados.

Após o nivelamento de todas as argamassas aplicadas e posterior secagem, deve garantir-se uma certa rugosidade no reboco para permitir melhor aderência da tinta a aplicar, no final. Antes de aplicar a tinta como acabamento final, aconselha-se a aplicação de um produto antialcalino, para que seja possível assumir um comportamento neutro da tinta em relação às argamassas de assentamento.

A tinta ideal a aplicar será a tinta plástica com o código de cor denominada de catálogo de tintas da marca CIN de “Ocre Évora” com o código E478.



Figura 5.37 – Extrato do catálogo de cores exteriores. [11]

A tinta plástica assume-se como sendo a mais conveniente para este tipo de paredes, dado que é uma tinta de base aquosa, permitindo-lhe aderir quase a todos os tipos de argamassa e possui uma durabilidade razoável, mas não dispensa uma manutenção periódica, a fim de a manter sempre intacta e preservada.

5.5.2 Reabilitação dos envidraçados

Neste edifício, as caixilharias presentes são em madeira, juntamente com vidros simples em ladrilho quadrangular. Como se pode verificar na Figura 5.38, os envidraçados possuem todos o mesmo tipo de acabamento e formato e são todos com abertura do tipo guilhotina.



Figura 5.38 – Envidraçados presentes no edifício em análise.

A nível de anomalias nos envidraçados, há a destacar a ausência de tinta ou de qualquer agente protetor da madeira da caixilharia, infiltrações pontuais através das juntas dos vidros para o interior, ferragens danificadas, com folgas e zonas que indiciam oxidação.

Começando pela ausência de tinta na madeira dos caixilhos, é necessário analisar o estado interno da madeira, garantindo que não se encontra completamente obsoleta no seu interior, livre de pragas e sem zonas ocas.

É importante assegurar que a estrutura da caixilharia se encontra em plena qualidade, de modo a dar maior estabilidade ao envidraçado no seu conjunto e maior segurança aos utilizadores do edifício, assim como aos peões que circulam nas imediações do edifício, visto que, em algumas situações, há perigos de queda iminentes.

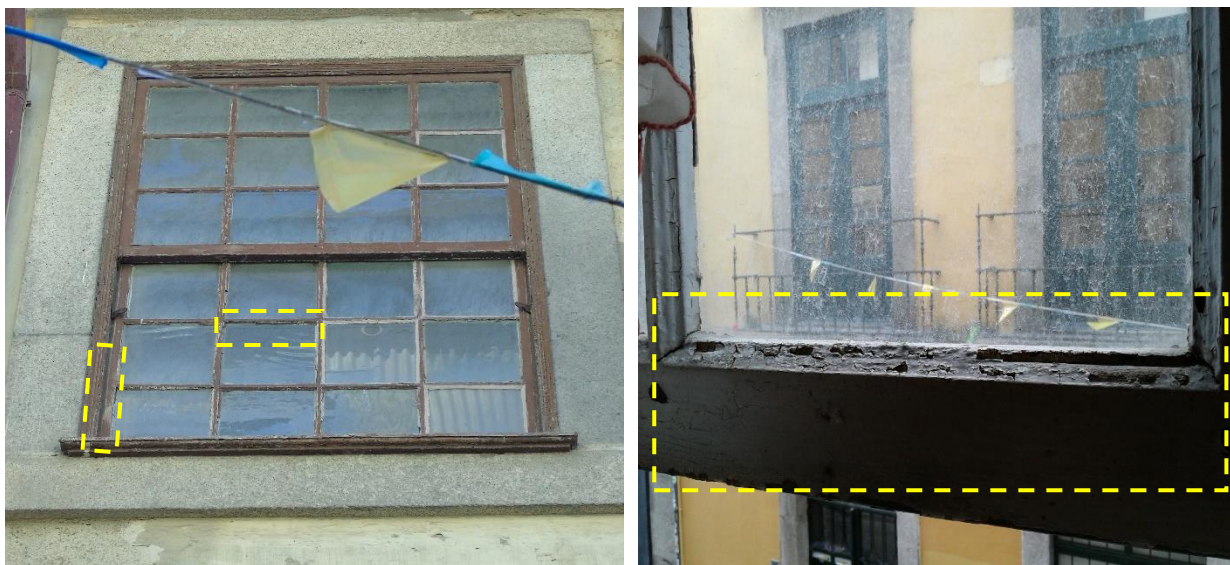


Figura 5.39 – Ausência de betumação nas juntas e acabamento degradado pelo interior e exterior.

Para solucionar a questão da falta de tinta na caixilharia, propõe-se que se efetue previamente uma decapagem e limpeza cuidadosa da tinta existente, com a finalidade de se conseguir obter a madeira da caixilharia totalmente livre de resíduos e de materiais já antigos e deteriorados, para posterior tratamento.

No caso de haver resíduos que se tenham alojado nos veios da caixilharia, propõe-se que se recorra a um processo de lixagem, sempre executada no sentido dos veios da madeira para evitar “ferimentos” na sua composição.

Para garantir que todas as gorduras e poeiras geradas pela limpeza são eliminadas, recomenda-se a passagem de um produto à base de diluente e, após essa aplicação, deverá ser feito um tratamento de hidrofugação da madeira e respetivo tratamento contra insetos. Asseguradas estas etapas pode-se proceder ao acabamento final da madeira pintado à cor original, já existente anteriormente.

Para uma melhor compatibilização de materiais e tintas convém tratar a madeira um pouco à maneira tradicional utilizando um primário oleoso para dar alguma textura de aderência à tinta que irá ser aplicada como acabamento final.

Uma pequena ressalva para o tipo de tinta a aplicar, que deverá ser microporosa e aplicada se possível no máximo com duas demãos à trincha, para tornar a sua textura uniforme e totalmente contínua sem microfissuras na sua película final.

Na zona das juntas entre os vidros e as caixilharias, verifica-se que há zonas sem a junta betumada ou já com algum aparente desgaste. A solução proposta passa pela remoção total do mástique de todas as juntas das caixilharias e recomenda-se a aplicação de mástique novo, de forma a garantir a estanquidade dos envidraçados.

A nível de peitoris das janelas, todos apresentam o desgaste normal, tendo em conta os 160 anos de idade que o edifício já tem. Como se pode verificar na Figura 5.40 a madeira do peitoril já adquiriu umas fissuras de forte expressão, que deverão ser devidamente corrigidas, a fim de prevenir infiltração de água e possibilidade de criação de anomalias de ação biológica, como insetos ou fungos.



Figura 5.40 – Peitoril de um dos envidraçados.

Como solução, propõe-se a limpeza com recurso a lixagem de todos os resíduos da tinta e primários antigos, e posteriormente a esta operação de limpeza recomenda-se usar um produto tapa poros e um tratamento de hidrofugação destes elementos, visto que são elementos, tais como as caixilharias muito expostas às ações das intempéries. No final deve-se aplicar a tinta à cor original para acabamento final que seja do mesmo tipo de tinta da caixilharia com o fim de uniformizar o acabamento e aspeto final.

A nível de ferragens, há determinados envidraçados, talvez com maior uso ao longo da sua vida útil que se encontram bastante danificadas onde já nem a reparação será possível, devido à quebra de alguns elementos. Através da Figura 5.41 verifica-se perfeitamente o estado degradado das ferragens, tais como os suportes da seção superior da janela.



Figura 5.41 – Suportes da zona superior do envidraçado degradados.

Estas peças convém serem retiradas, para verificar se há zonas de oxidação e, estando na presença de ferrugem deve-se tratar as peças, galvanizando-as, ficando com resistência ao aparecimento de ferrugem. No final, deverão ser pintadas à cor original, após aplicação de um primário adequado para garantir boa aderência da tinta esmaltada.

5.5.3 Reabilitação das cantarias

As peças de cantaria são um elemento de contorno aos envidraçados que dão beleza e robustez à fachada e, após análise, não se verificam assentamentos diferenciais, nem qualquer tipo de anomalias estruturais.



Figura 5.42 – Peças de cantaria presentes na fachada.

Com o intuito de reabilitar, de forma ligeira, as cantarias propõe-se que se efetue uma lavagem com recurso a jato de água de pressão controlada, e recomenda-se a aplicação de produto hidrorrepelente com o intuito de evitar a criação de eflorescências ou o aparecimento de manchas negras.

As cantarias, na zona das portas de entrada e comércio, possuem manchas de sujidade que requerem lavagem, como se pode ver na Figura 5.43, e na zona do comércio originalmente os elementos de cantaria estariam pintados, pelo que a sua reabilitação passa por uma lavagem com recurso a jato de areia com pressão controlada, para remover todos os resíduos da tinta antiga.



Figura 5.43 – Elementos de cantaria na zona de entrada e comércio.

5.5.4 Reabilitação da porta de entrada

A porta de entrada parece encontrar-se em bom estado, no entanto, com uma análise detalhada às peças de funcionamento, como ferragens e fechaduras, verifica-se que há algum trabalho a realizar.



Figura 5.44 – Porta de entrada.

Na Figura 5.45 é possível observar algumas degradações nas ferragens e fechadura da porta de entrada que necessitam de atuação para se corrigir esta situação.



Figura 5.45 – Ferragens onde a porta fica devidamente trancada.

Numa análise superficial consegue-se verificar ausência de certos componentes que asseguram o bom fecho da porta de entrada. A solução neste caso passa por tentar arranjar uma peça nova que seja compatível com as ranhuras já feitas na alvenaria de pedra de modo a tornar a compatibilidade entre o original e as peças novas.

A nível de pinturas e envernizamentos a porta não necessita de grandes intervenções pelo que se poderá mantê-la no estado em que se encontra, porém não deixa de carecer de uma manutenção periódica para garantir sempre a sua integridade e bom aspeto original.

Na Figura 5.46, pode-se verificar que a sua fechadura e puxador, possivelmente já reabilitados anteriormente, encontram-se em bom estado de conservação.

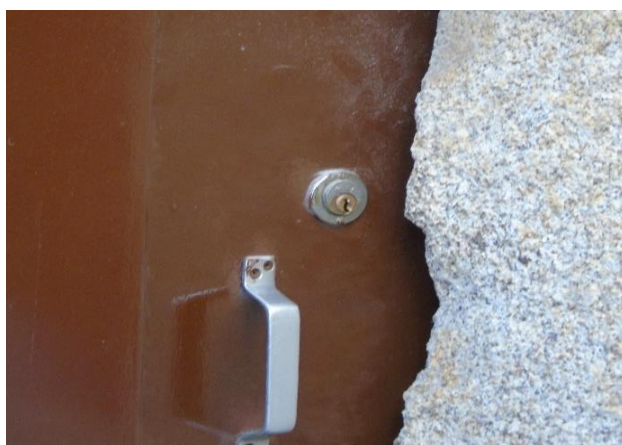


Figura 5.46 – Fechadura e puxador da porta de entrada.

De igual forma na Figura 5.47, verifica-se que a caixa de correio, batente da porta e já mais atual campainha elétrica encontram-se também em bom estado de conservação não carecendo de qualquer intervenção.



Figura 5.47 – Elementos presentes na porta de entrada.

5.5.5 Reabilitação das cornijas

A zona das cornijas é a mais suscetível de formação de eflorescências e até mesmo, de fixação de vegetação que é o caso do edifício em análise como pode ver na Figura 5.48.



Figura 5.48 – Cornijas, com anomalias de origem biológica.

Trata-se da zona mais suscetível a ocorrer estas anomalias visto que incorpora a zona de recolha de águas pluviais, ou seja, é uma zona sempre húmida e um pouco sombria que potencia o aparecimento de eflorescências e vegetação.

A solução para esta questão passa por previamente realizar uma limpeza aprofundada, eliminando qualquer tipo de herbáceas e com recurso a jato de água eliminar as eflorescências presentes. Após remoção total de todos estes elementos de ação biológica recomenda-se a aplicação de um herbicida para garantir que todas as potencias herbáceas são eliminadas e aplicar-se corretamente um repelente hidrófugo a fim de não permitir a aderência destes elementos ao granito da cantaria.

Neste edifício em questão verifica-se que é uma zona bastante afetada dado que se manifesta a ausência de uma caleira, que faça a recolha das águas pluviais e que faça o devido encaminhamento até aos tubos de queda, que irão ser abordados a seguir.

5.5.6 Reabilitação dos tubos de queda e caleiras

No edifício em análise verifica-se a ausência de caleiras no beiral do telhado possivelmente por rutura da caleira original e que, com o passar dos anos, nunca foi recolocada. Este elemento faria a recolha das águas vindas da cobertura e o respetivo encaminhamento para os tubos de queda.



Figura 5.49 – Tubo de queda em PVC.

Como se pode observar pela Figura 5.49, os tubos de queda encontram-se em bom estado não apresentando fissuras, nem zonas partidas.

As abraçadeiras de fixação do tubo de queda não apresentam sinais de oxidação pelo que uma simples repintura, para assegurar a sua durabilidade, é recomendada.

Na zona da caleira, a solução passa por colocar uma caleira em zinco devidamente impermeabilizada e protegida contra os fatores externos. Recomenda-se também efetuar limpeza periódica dos ramais de ligação da caleira aos tubos de queda, para assegurar o seu bom funcionamento.

5.6 SÍNTESE DA REABILITAÇÃO TÉRMICA DA FRAÇÃO

Com o intuito de sintetizar melhor a informação descrita na análise térmica da fração estudada, são a seguir apresentadas tabelas esquemáticas com os dados mais relevantes.

Tabela 5.30 – Esquemas sintetizados da reabilitação térmica das paredes.

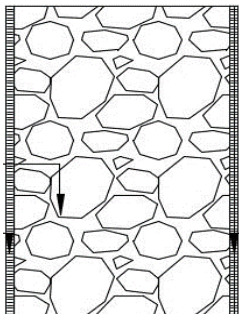
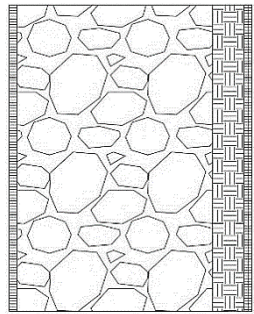
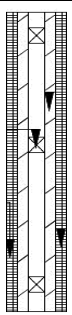
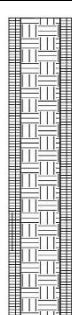
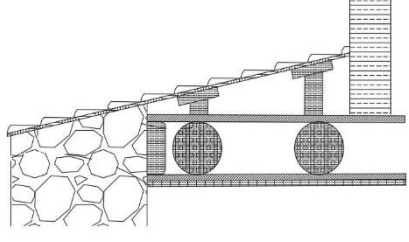
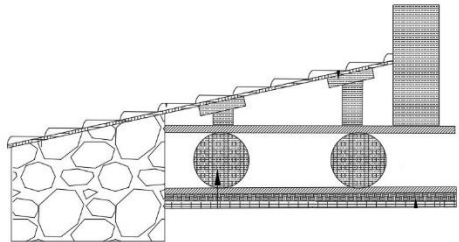
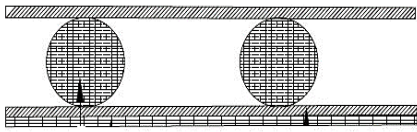
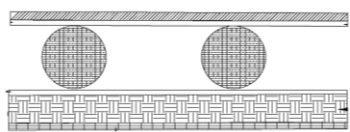
Dados	Solução Existente	Solução de Reabilitação
Parede de fachada exterior		
Coeficiente de transmissão térmica [U = W/(m.°C)]	2.13	0.30
Parede interior para zonas comuns		
Coeficiente de transmissão térmica [U = W/(m.°C)]	2.27	0.41

Tabela 5.31 - Esquemas sintetizados da reabilitação térmica de pavimentos e cobertura.

Dados	Solução Existente	Solução de Reabilitação
Cobertura na zona do recuado		
Coeficiente de transmissão térmica [U= W/(m.°C)]	1.50	0.33
Pavimento entre habitações		
Coeficiente de transmissão térmica [U= W/(m.°C)]	1.61	0.46

Com esta metodologia de reabilitação, em que se preservam e reabilitam os elementos originais, pretende-se dar a demonstrar que as obras de reabilitação podem e devem ser executadas sempre com uma regra, reabilitar e preservar a história de cada edifício.

Este edifício em estudo revela uma boa construção para a época em que foi construído, no entanto a falta de manutenção e de conservação dos elementos referidos original degradação, e por vezes, inutilidade total destes elementos.

A nível térmico, a fração analisada não possuía quaisquer tipos de requisitos de conforto, tal com seriam todas as habitações da época, no entanto, com poucas intervenções, é possível melhorar o conforto no interior da fração, assim como a níveis energéticos é possível tornar-se muito mais eficientes.

A nível acústico, as paredes de fachada em alvenaria de granito de espessura considerável funcionam bastante bem no isolamento a sons de condução aérea visto possuem elevada massa e inércia, no entanto, entre pavimentos e paredes interiores o nível de isolamento a sons de percussão são muito fracos que requer uma grande atenção por parte de quem analisa, projeta e preconiza soluções construtivas de melhoramento.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

A presente dissertação culmina os estudos e representa a etapa final para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, interligando os conceitos e fundamentos aprendidos durante os anos letivos de aprendizagem. A nível de pesquisa inicial bibliográfica, o tema da reabilitação é um tema vasto, onde se consegue encontrar bibliografia de autores muito conhecidos e com muito currículo, o que por si só facilitou o agrupamento de ideias e o adquirir de algumas competências que iriam ser necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

No desenvolvimento do enquadramento construtivo dos edifícios antigos do Porto, foi necessário investigar um pouco da história da cidade, para facilitar a interpretação de certos métodos construtivos que se foram alterando, enquanto outros se mantiveram constantes.

A cidade do Porto, a nível de construção, tem uma tradição muito própria e com uma identidade que se destaca de todas as outras cidades. Daí a reabilitação urbana assumir-se como não só para dar uma nova vida aos edifícios degradados, mas também como gerando uma nova dinâmica numa cidade que outrora tinha caído num certo esquecimento.

A escolha dos materiais a aplicar nas reabilitações é de extrema importância, nomeadamente no que respeita à qualidade e compatibilização dos sistemas construtivos, evitando, desta forma a ocorrência, de possíveis anomalias. Os projetos de reabilitação, relativamente a fachadas, deverão ser exigentes, visando os ganhos económicos nas futuras ações de manutenção que sejam necessárias realizar.

No caso de estudo, houve uma preocupação extrema em reabilitar sem modificar no possível os materiais originais, de forma a preservar a identidade, história e carisma do edifício, que se repercute na identidade da cidade do Porto.

As questões energéticas e térmicas, muito atuais, são assuntos envolvendo constantes alterações regulamentares, que obrigam por parte de quem analisa e projeta a um estudo regular, a fim de adaptar as soluções construtivas mais adequadas aos edifícios históricos, cumprindo a legislação vigente.

CAPÍTULO 5

Como desenvolvimento futuro, seria de todo o interesse elaborar tabelas de avaliação com base numa metodologia estipulada, em que de acordo com as anomalias avaliadas, fosse possível obter no final medidas corretivas a aplicar. Permitir-se-ia assim desta forma, uniformizar as técnicas de reabilitação nos diversos edifícios a intervencionar, dado que, nem sempre são utilizadas as melhores práticas para o efeito.

De interesse relevante, seria igualmente executar ensaios laboratoriais aos sistemas construtivos de melhoria, propostos no caso de estudo, com o intuito de se poder comparar os resultados obtidos teoricamente e os obtidos em ensaios práticos.

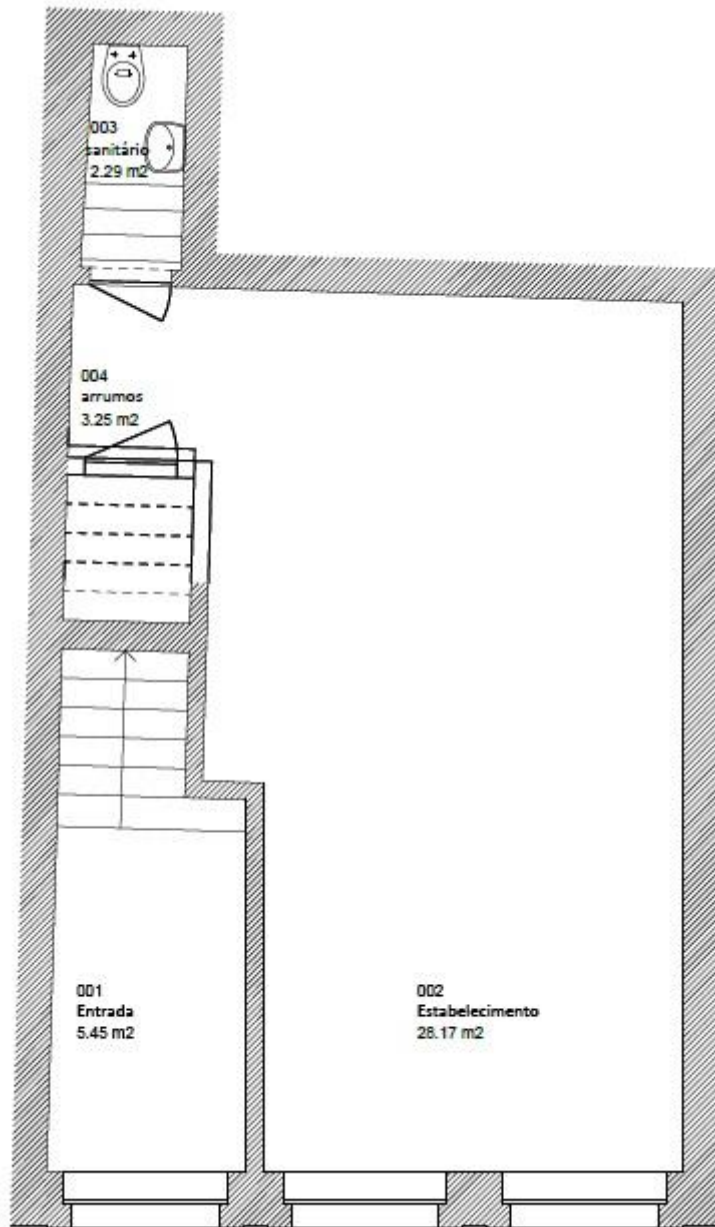
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Aguiar, Arqº José, Cabrita, Arqº António M. Reis e Appleton, Engº João, Volume 1.** *Guia de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1998.
2. **Chaves, Ana Margarida Vaz Alves.** *Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas*. s.l. : Universidade do Minho, 2009.
3. **Lisboa, Instituto Superior de Engenharia de.** *Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios*. Lisboa : ISEL, Julho, 2014.
4. **Veiga, Maria R.** *Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou... destruir*. . Porto : s.n., 2006.
5. **Sika.** *Soluções e Produtos para revstimentos*. Vila Nova de Gaia : s.n., 2017.
6. **Muralha, Museu de Alberto Sampaio e.** *Técnicas de construção tradicional, Tintas*. Portugal : s.n., 1982.
7. **Coias, Vítor.** *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. Lisboa : IST PRESS, 2006.
8. **Lino, Raul.** *A Nossa Casa - Casas Portuguesas*. Lisboa : Valentim de Carvalho, 1954.
9. **Porto Vivo, SRU.** *Guia de termos de Referência para o Desempenho Energético-Ambiental*. Porto : Porto Vivo, SRU, 2013.
10. **Standards, European.** *EN 12354-1 Building acoustics*. 2000.
11. **CIN, Tintas.** *Catálogo de tintas exteriores*. 2017.
12. **Patricio, Jorge.** *Acústica nos Edifícios*. s.l. : Verlag Dashofer, 2008.
13. **Ribeiro, Sofia Daniela Gomes.** *Estudo do comportamento estrutural de paredes de tabique* . Vila Real : s.n., 2014.
14. **Costa, F. Pereira da.** *Enciclopédia da Construção Civil - Obras de Cantaria*. s.l. : Portugalia Editora.
15. **Freitas, Vasco Peixoto de.** *Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos*. 2012.
16. **Freitas, Vasco, et al.** *Humidade Ascensional*. Porto : FEUP, 2008.
17. **Almeida, Celeste Maria Nunes Vieira de.** *Alvenarias antigas do Porto*. FEUP : s.n., 2013.

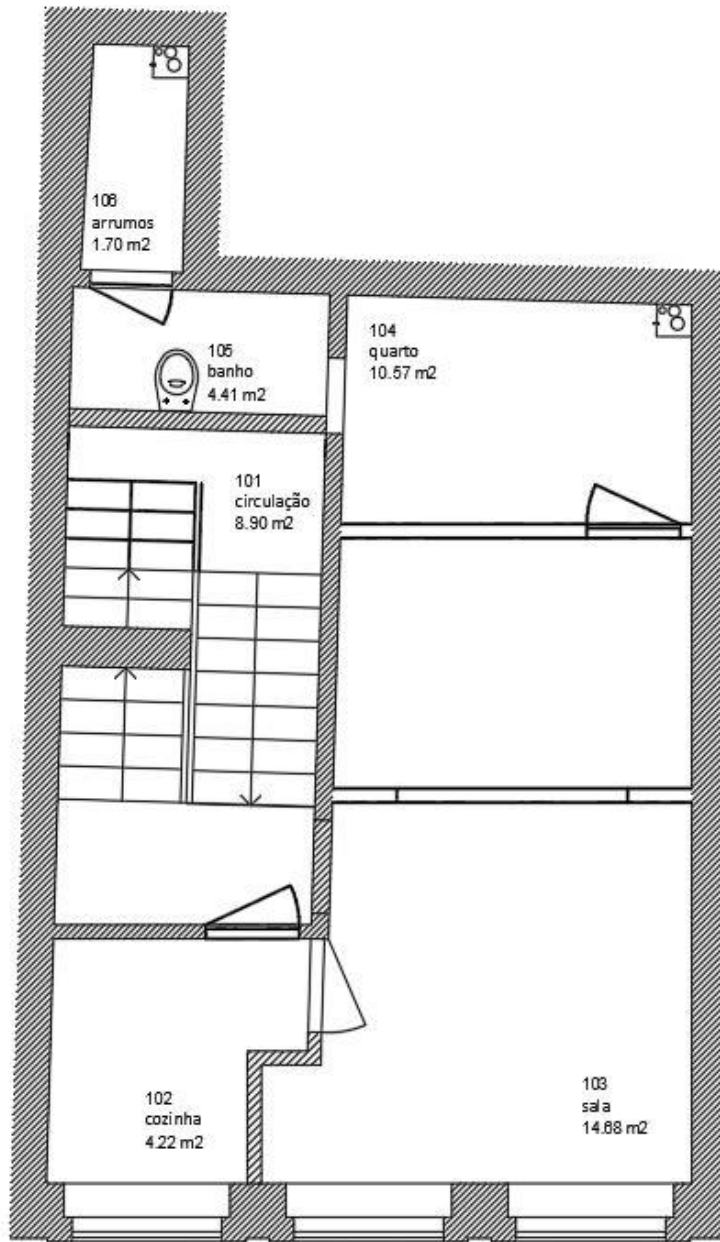
18. **Carlos A. Pina Dos Santos, Rodrigo Rodrigues.** *ITE 54 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edificios.* s.l. : LNEC, 2010.
19. **Google.** *Google Maps.*
20. **Energia, ADENE – Agência para a.** *Certificação Energética.*
21. **Carlos A. Pino Santos, Luís Matias.** *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50.* s.l. : LNEC, 2006.
22. **Decreto-Lei 96/2008, 9 Junho RRAE - Regulamento Requisitos Acústicos de Edifícios.**
23. **Decreto-Lei 9/2007, 17 Janeiro RGR - Regulamento Geral do Ruído.**

ANEXOS

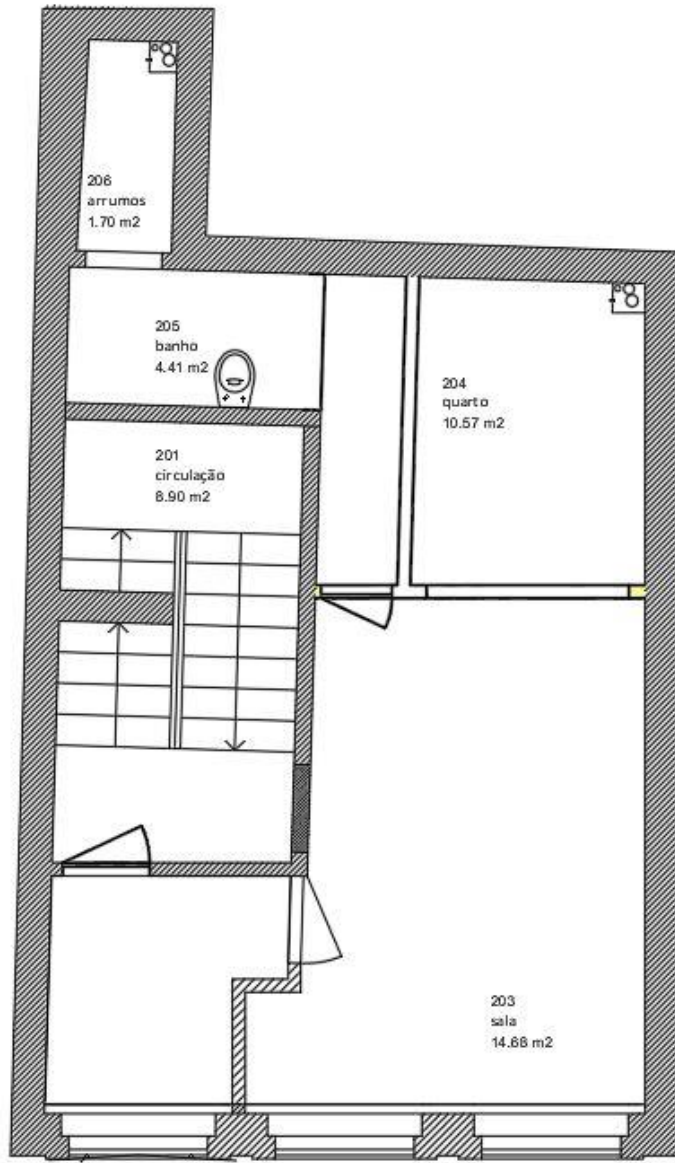
ANEXO I – PLANTAS DO EDIFÍCIO EM ESTUDO

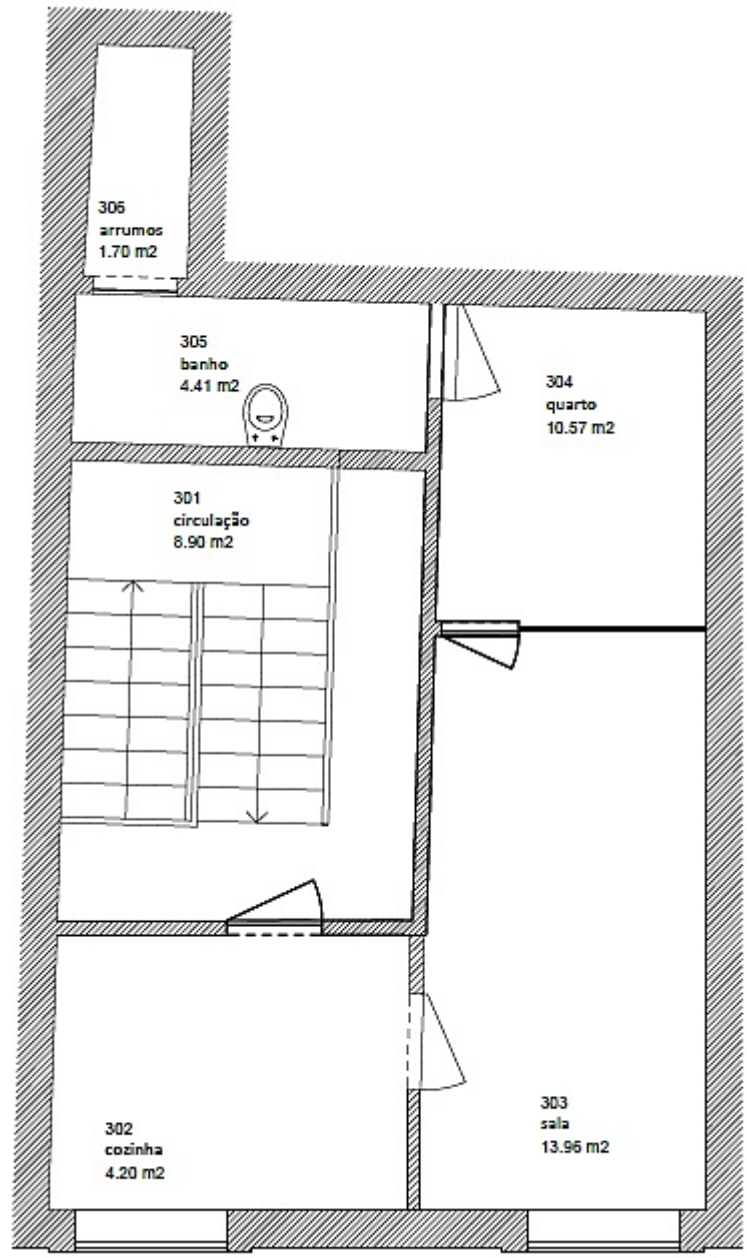


rés-do-chão



1º Andar





3º Andar

ANEXO II – TABELAS DE CÁLCULO FOLHA ITECONS SOLUÇÃO ORIGINAL

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR				A.6 - ENVOLVENTE EXTERIOR			
PAREDES EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C	PAREDES EXTERIORES	Área A m ²	U _{ref} W/m ² .°C	U.A W/°C
PDE1	3,69	2,57	9,48	correção quando a área de envidraçados excede 20% da área útil PDE1	6,41 3,69	0,50 0,50	3,20 1,85
TOTAL			9,48	TOTAL			5,05

PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR				PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR			
	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C		Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
TOTAL			0,00	TOTAL			0,00

COBERTURAS EM CONTACTO COM O EXTERIOR				COBERTURAS EM CONTACTO COM O EXTERIOR			
	Área A m ²	U _{ascendente} W/m ² .°C	U.A W/°C		Área A m ²	U _{ascendente} W/m ² .°C	U.A W/°C
CBE1	5,52	0,34	1,88	CBE1	5,52	0,40	2,21
TOTAL			1,88	TOTAL			2,21

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES				VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES			
	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C		Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
1 (VE1)	4,29	2,00	8,58	1 (VE1)	2,15	2,80	6,03
2 (VE1)	4,29	2,00	8,58	2 (VE1)	2,15	2,80	6,03
3 (VE1)	4,29	2,00	8,58	3 (VE1)	2,15	2,80	6,03
TOTAL			25,74	TOTAL			18,09

VÃOS OPACOS EXTERIORES				VÃOS OPACOS EXTERIORES			
	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C		Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
TOTAL			0,00	TOTAL			0,00

PONTES TÉRMICAS LINEARES				PONTES TÉRMICAS LINEARES			
	Comp. B m	ψ W/m.°C	ψ.B W/°C		Comp. B m	ψ W/m.°C	ψ.B W/°C
Fachada com pavimento intermédio	5,52	0,50	2,76	Fachada com pavimento intermédio	5,52	0,50	2,76
Fachada com caixilharia	25,14	0,25	6,29	Fachada com caixilharia	25,14	0,20	5,03
Fachada com cobertura	5,52	1,00	5,52	Fachada com cobertura	5,52	0,50	2,76
TOTAL			14,57	TOTAL			10,55

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR					A.7 - ENVOLVENTE INTERIOR				
PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
PDI1	26,94	2,27	0,80	48,92	PDI1	26,94	0,50	0,80	10,78
TOTAL				48,92	TOTAL				10,78

PAREDES EM CONTACTO COM EDIFÍCIOS ADJACENTES	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	PAREDES EM CONTACTO COM EDIFÍCIOS ADJACENTES	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
PDI2	60,78	2,16	0,60	78,77	PDI2	60,78	0,80	0,60	29,17
TOTAL				78,77	TOTAL				29,17

PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS					PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS				
	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C		Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C

COBERTURAS INTERIORES (SOB ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS)	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	COBERTURAS INTERIORES (SOB ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS)	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
				0,00					0,00

VÃOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	VÃOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
				0,00					0,00

VÃOS EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	VÃOS EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
				0,00					0,00

PONTES TÉRMICAS LINEARES (APENAS PARA PAREDES DE SEPARAÇÃO PARA ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS COM b _v > 0,7)	Comp. B m	ψ W/m.°C	b _v	ψ.B.b _v W/°C	PONTES TÉRMICAS LINEARES (APENAS PARA PAREDES DE SEPARAÇÃO PARA ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS COM b _v > 0,7)	Comp. B m	ψ W/m.°C	b _v	ψ.B.b _v W/°C
Fachada com pavimento intermédio	8,98	0,50	0,80	3,59	Fachada com pavimento intermédio	8,98	0,50	0,80	3,59
Fachada com pavimento intermédio	8,98	0,50	0,80	3,59	Fachada com pavimento intermédio	8,98	0,50	0,80	3,59
				7,18					7,18

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} W/°C

A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO				A.8 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO			
PAREDES ENTERRADAS	Área m ²	U _{sw} W/m ² .°C	A.U _{sw} W/°C	PAREDES ENTERRADAS	Área m	U _{sw} W/m ² .°C	A.U _{sw} W/°C
			0,00				0,00

PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).</i>	Área m ²	U _{sf} W/m ² .°C	A.U _{sf} W/°C	PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).</i>	Área m	U _{sf} W/m ² .°C	A.U _{sf} W/°C
			0,00				0,00

PAVIMENTOS TÉRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem</i>	Área m ²	U _f W/m ² .°C	A.U _f W/°C	PAVIMENTOS TÉRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem isolamentos</i>	Área m	U _f W/m ² .°C	A.U _f W/°C
			0,00				0,00

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{int} + H_{int} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{int} + H_{int} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

$$\begin{array}{r}
 \text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior } H_{\text{int}} \quad + \quad \boxed{56,11} \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 + \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo } H_{\text{ext}} \quad \boxed{0,00} \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{\text{tr}} \quad \boxed{107,77} \quad \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior } H_{\text{int REF}} \quad + \quad \boxed{17,96} \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 + \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo } H_{\text{ext REF}} \quad \boxed{0,00} \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{\text{tr REF}} \quad \boxed{53,85} \quad \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{-} \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} &= \frac{0,00}{x} \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= \frac{0}{x} \text{ m}^3/\text{h} \\
 & \div \\
 R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d &= \frac{38,76}{x} \text{ m}^3/\text{h} \\
 & = \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= \frac{1,00}{x} \\
 & \times \\
 & 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} &= \frac{0,40}{x} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= \frac{32,30}{x} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= \frac{3,00}{x} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} &= \frac{13,18}{x} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{0,34}{x} \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i,REF} &= \frac{0,40}{x} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= \frac{32,30}{x} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= \frac{3,00}{x} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i,REF} &= \frac{13,18}{x} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{-} \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} &= \frac{0}{x} \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= \frac{0}{x} \text{ m}^3/\text{h} \\
 & \div \\
 R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d &= \frac{58,14}{x} \text{ m}^3/\text{h} \\
 & = \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= \frac{1,00}{x} \\
 & \times \\
 & 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,v} &= \frac{0,60}{x} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= \frac{32,30}{x} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= \frac{3,00}{x} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} &= \frac{19,77}{x} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo C

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 & 0,72 \\
 & \times \\
 \text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} & \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{6,20} \text{ meses} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,3} \text{ m}^2 \\
 & = \\
 \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,i}} & \boxed{576,75} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

C.2 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{o,i} = F_{h,i} \cdot F_{a,i} \cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada F_k	Área efectiva colectora $A_{s,i} = A_w \cdot F_{o,i} \cdot F_k \cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora a Sul $X \cdot A_{s,i}$ m ²
1 (VE1)	Este	0,77	4,29	0,52	0,65	1,11	0,56	0,62
2 (VE1)	Este	0,77	4,29	0,52	0,65	1,11	0,56	0,62
3 (VE1)	Este	0,77	4,29	0,52	0,65	1,11	0,56	0,62
-	-	-	-	-	-	-	-	-
							TOTAL	1,87

Em nenhum caso o produto $X_i \cdot F_{o,i} \cdot F_{a,i} \cdot F_{f,i}$ deve ser menor que 0.27;

Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_{o,i} \cdot F_{f,i}$ deve ser inferior ou igual a 0.9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno $g_i = g_{i,ENU}$	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{o,i} = F_{h,i} \cdot F_{a,i} \cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada $F_k = F_{k,ENU}$	Área efectiva colectora $A_{s,i} = A_w \cdot F_{o,i} \cdot F_k \cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora a Sul $X \cdot A_{s,i}$ m ²
-	-	-	-	-	-	-	-	-
							TOTAL	0,00

No cálculo de $g_{i,int}$ e $g_{i,ENU}$ não deverão ser considerados os dispositivos de protecção solar móveis devendo considerar-se apenas dispositivos permanentes; caso não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, g_i será igual ao factor solar do vidro para uma incidência solar normal $g_{\perp,vid}$, afectado do factor de seletividade angular $F_{w,i}$.

$$\begin{aligned}
 & \text{Área efectiva total equivalente na orientação a Sul } \boxed{1,87} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sol}} & \boxed{130} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês} \\
 & \times \\
 \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{6,20} \text{ meses} \\
 & = \\
 \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,i}} & \boxed{1507,74} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned}
 \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,i}} & \boxed{576,75} \text{ kWh/ano} \\
 & +
 \end{aligned}$$

Ganhos solares brutos $Q_{sol,j}$ kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,j}$ kWh/ano

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul} kWh/m².mês

x

0,146

x

0,15

x

Área útil de pavimento A_p m²

x

Duração da estação de aquecimento M meses

=

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ kWh/ano

+

Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ kWh/ano

Folha de Cálculo D

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos médios } q_{int} &= \frac{4}{x} \text{ W/m}^2 \\ \text{Duração da estação de arrefecimento } L &= \frac{2928}{x} \text{ horas} \\ \text{Área útil de pavimento } A_p &= \frac{32,30}{x} \text{ m}^2 \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{g, int} &= \frac{378,30}{x} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

D.2 - GANHOS SOLARES

VÃOS ENVIDRAÇADOS

Designação do Envidraçado	Orientação	Área m ²	Tipo de Vidro	Fração Envidraçada F _g	Factor Sel. angular F _{sw}	Fração Tempo Prot. Móvel activa F _{act, mv}	FS Global Prot. Móvel e Perm. g _g	FS Global Prot. Perm. g _g	FS de Vidro g _v = F _g × g _g × (1 - F _{act, mv} × g _v)	Área efectiva A _g = A _g × F _g × g _v	Factor de Obstrução F _o = F _{o, int} × F _{o, ext} × F _{o, s}	Intensidade de Radiação I _g	I _g × F _o × A _g
1 (VE1)	Este	4,23	Simplex	0,65	0,90	0,60	0,30	0,77	0,49	1,36	0,90	490,00	597,62
2 (VE1)	Este	4,23	Simplex	0,65	0,90	0,60	0,30	0,77	0,49	1,36	0,90	490,00	597,62
3 (VE1)	Este	4,23	Simplex	0,65	0,90	0,60	0,30	0,77	0,49	1,36	0,90	490,00	597,62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL													1792,86

Designação do Envidraçado	Orientação	Área m ²	Tipo de Vidro	Fração Envidraçada F _g	Factor Sel. angular F _{sw}	Fração Tempo Prot. Móvel activa F _{act, mv}	FS de Vidro do vão interior g _{v, int}	FS de Vidro do vão do DNU g _{v, DNU}	E _{ext} g _{v, ext}	Área efectiva A _g = A _g × F _g × g _{v, int} × g _{v, DNU}	Factor de Obstrução F _o = F _{o, int} × F _{o, ext} × F _{o, s}	Intensidade de Radiação I _g	I _g × F _o × A _g
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL													0,00

Atente-se que os elementos opacos do DNU não causam arrefecimento ao vão interior, pelo que se considera de outro sombreamento e factor de obstrução dos vãos interiores F_o = 1, igual a 1.
Caso o vão exterior do DNU não disponha de dispositivos de proteção solar permanentes o factor solar g_{v, DNU} é igual a 1.

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

FAREDE EXTERIOR	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A _{op} m ²	U W/m ² ·°C	R _{we} [m ² ·°C]/W	Área efectiva A _g = α × U × A _{op} × R _{we}	Factor de Obstrução F _o = F _{o, int} × F _{o, ext} × F _{o, s}	Intensidade de Radiação I _g	I _g × F _o × A _g
PDE1	Este	0,40	3,69	2,57	0,04	0,15	0,90	490,00	66,03
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL									66,03

COBERTURA EXTERIOR	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A _{op} m ²	U W/m ² ·°C	R _{we} [m ² ·°C]/W	Área efectiva A _g = α × U × A _{op} × R _{we}	Factor de Obstrução F _o	Intensidade de Radiação I _g	I _g × F _o × A _g
CBE1	Horizontal	0,40	5,52	0,33	0,04	0,03	1,00	800,00	25,32
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL									25,32

COBERTURAS INTERIORES	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A _{op} m ²	U W/m ² ·°C	R _{we} [m ² ·°C]/W	Área efectiva A _g = α × U × A _{op} × R _{we}	Factor de Obstrução F _o	Intensidade de Radiação I _g	I _g × F _o × A _g
-	Horizontal	-	-	-	0,04	-	1,00	800,00	-
TOTAL									0,00

VÃOS OPACOS EXTERIORES	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A _{op} m ²	U W/m ² ·°C	R _{we} [m ² ·°C]/W	Área efectiva A _g = α × U × A _{op} × R _{we}	Factor de Obstrução F _o = F _{o, int} × F _{o, ext} × F _{o, s}	Intensidade de Radiação I _g	I _g × F _o × A _g
-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-
TOTAL									0,00

$$\begin{aligned} \text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidrada} &= \frac{3792,86}{x} \text{ kWh/ano} \\ \text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca} &= \frac{90,24}{x} \text{ kWh/ano} \\ \text{Ganhos Solares brutos } Q_{g, sol} &= \frac{3883,10}{x} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{g, int} &= \frac{378,30}{x} \text{ kWh/ano} \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{g, sol} &= \frac{3883,10}{x} \text{ kWh/ano} \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g, t} &= \frac{2261,40}{x} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

D.5 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos médios } q_{int} &= \frac{4}{x} \text{ W/m}^2 \\ \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L &= \frac{2928}{x} \text{ horas} \\ &= \frac{1000}{x} \\ \text{factor solar de verão de referência } g_{ref} &= \frac{0,49}{x} \\ A_{int}/A_{p, int} &= \frac{0,2}{x} \\ \text{Radiação solar média de referência } I_{s, ref} &= \frac{490}{x} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{51,65}{x} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \\ \text{Área útil de Pavimento } A_p &= \frac{32,3}{x} \text{ m}^2 \\ \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g, t, ref} &= \frac{2739,42}{x} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 186,54 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{w,r} \quad 13,18 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr} \quad 199,72 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1\,250 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 186,54 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr} \quad 5\,596,30 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1\,250 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{w,r} \quad 13,18 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{w,r} \quad 395,35 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{gb} \quad 2084,49 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr}+Q_{w,r} \quad 5991,65 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma \quad 0,35 \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 83,03 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{w,r,REF} \quad 13,18 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr,REF} \quad 96,21 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1\,250 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 83,03 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,REF} \quad 2490,85 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1\,250 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{w,r,REF} \quad 13,18 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{w,r,REF} \quad 395,35 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{array}{rcl}
 \text{parâmetro ai} & \boxed{4,20} & \text{W/}^\circ\text{C} \\
 \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta & \boxed{0,99} & \\
 & \times & \\
 \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,b} & \boxed{2084,49} & \text{kWh/ano} \\
 & = & \\
 \text{Ganhos totais úteis } Q_{g,u} & \boxed{2068,30} & \text{kWh/ano}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i,NET} & \boxed{0,6} & \\
 & \times & \\
 \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i,NET} & \boxed{1146,89} & \text{kWh/ano} \\
 & = & \\
 \text{Ganhos totais úteis } Q_{g,u,NET} & \boxed{688,13} & \text{kWh/ano}
 \end{array}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{t,e} & \boxed{5596,30} & \text{kWh/ano} \\
 & + & \\
 \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{r,e} & \boxed{395,35} & \text{kWh/ano} \\
 & - & \\
 \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{g,e} & \boxed{2068,30} & \text{kWh/ano} \\
 & \text{(folha de cálculo 1.4)} & \\
 & = & \\
 \text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} & \boxed{3923,35} & \text{kWh/ano} \\
 & \div & \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,30} & \text{m}^2 \\
 & = & \\
 \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_e & \boxed{121,47} & \text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{array}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{t,e,NET} & \boxed{2490,85} & \text{kWh/ano} \\
 & + & \\
 \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{r,e,NET} & \boxed{395,35} & \text{kWh/ano} \\
 & - & \\
 \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{g,e,NET} & \boxed{688,13} & \text{kWh/ano} \\
 & = & \\
 \text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} & \boxed{2198,07} & \text{kWh/ano} \\
 & \div & \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,30} & \text{m}^2 \\
 & = & \\
 \text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_e & \boxed{68,05} & \text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{array}$$

Folha de Cálculo F

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_p \quad 107,77 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ra} \quad 19,77 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 127,54 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_p \quad 107,77 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{e,ref} - \theta_{e,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{t,v} \quad 1\,293,79 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ra} \quad 19,77 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{e,ref} - \theta_{e,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ra,v} \quad 237,31 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 2\,261,40 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 & \div \\
 \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,v} + Q_{rv,v} & \boxed{1531,09} \text{ kWh/ano} \\
 & = \\
 \text{parâmetro } \gamma_v & \boxed{1,48} \\
 \text{parâmetro } a_v & \boxed{4,20} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v & \boxed{0,63}
 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v \boxed{0,83}$$

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \boxed{0,37} \\
 (1 - \eta_v) & \div \\
 \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v} & \boxed{2261,40} \text{ kWh/ano} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,30} \text{ m}^2 \\
 & \div \\
 \text{Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{v,e} & \boxed{26,04} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \boxed{0,17} \\
 (1 - \eta_{v,NET}) & \div \\
 \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v,NET} & \boxed{1739,42} \text{ kWh/ano} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,30} \text{ m}^2 \\
 & \div \\
 \text{Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{v,e} & \boxed{9,13} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo G

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_u KWh/m ² .ano	f_s	ϕ	Eficiência Nominal η_n	Fator de Conversão F_{conv} KWh ₁₂ /KWh	Necessidades de Energia Final $f_s \cdot \phi \cdot N_u / \eta_n \cdot A_p$ KWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_s \cdot \phi \cdot N_u \cdot F_{conv} / \eta_n$ KWh ₁₂ /m ² .ano	SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_u KWh/m ² .ano	f_s	Eficiência Nominal de Referência η_{ref}	Fator de Conversão F_{conv} KWh ₁₂ /KWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_s \cdot N_u \cdot F_{conv} / \eta_n$ KWh ₁₂ /m ² .ano	
Sistema por defeito	Electricidade		1,00		1	2,5	3923,33	303,67	Sistema por defeito	Electricidade		1,00	1	2,5	170,13	
TOTAL								3923,33	303,67	TOTAL						170,13

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_{ar} KWh/m ² .ano	f_s	ϕ	Eficiência Nominal η_r	Fator de Conversão F_{conv} KWh ₁₂ /KWh	Necessidades de Energia Final $f_s \cdot \phi \cdot N_{ar} / \eta_r \cdot A_p$ KWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_s \cdot \phi \cdot N_{ar} \cdot F_{conv} / \eta_r$ KWh ₁₂ /m ² .ano	SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_{ar} KWh/m ² .ano	f_s	Eficiência Nominal de Referência η_{ref}	Fator de Conversão F_{conv} KWh ₁₂ /KWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_s \cdot N_{ar} \cdot F_{conv} / \eta_r$ KWh ₁₂ /m ² .ano	
Sistema por defeito	Electricidade		1,00		3	2,5	280,33	21,70	Sistema por defeito	Electricidade		1,00	3	2,5	7,61	
TOTAL								280,33	21,70	TOTAL						7,61

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQ3

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQ3 DE REFERÊNCIA

CONSUMO DE AQ3									CONSUMO DE AQ3 DE REFERÊNCIA								
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ3									Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ3								
consumo médio diário de referência M_{AQ3} <input type="text" value="80"/> l \times nº convencional de ocupantes de cada fracção n <input type="text" value="2"/> ocupantes factor de eficiência hídrica <input type="text" value="1"/> = consumo médio diário de referência MAQ3 <input type="text" value="80"/> l \div A_p <input type="text" value="32,3"/> m ² = Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ3 Q_u/A_p <input type="text" value="36,80"/> kWh/m ² .ano									consumo médio diário de referência M_{AQ3} <input type="text" value="80"/> l \times nº convencional de ocupantes de cada fracção n <input type="text" value="2"/> ocupantes factor de eficiência hídrica <input type="text" value="1"/> = consumo médio diário de referência MAQ3 <input type="text" value="80"/> l \div A_p <input type="text" value="32,3"/> m ² = Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ3 Q_u/A_p <input type="text" value="36,80"/> kWh/m ² .ano								
SISTEMA PARA AQ3	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil Q_u/A_p KWh/m ² .ano	f_s	ϕ	Eficiência Nominal η_s	Fator de Conversão F_{conv} KWh ₁₂ /KWh	Necessidades de Energia Final $f_s \cdot \phi \cdot Q_u / \eta_s$ KWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_s \cdot \phi \cdot Q_u \cdot F_{conv} / \eta_s$ KWh ₁₂ /m ² .ano	SISTEMA PARA AQ3	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil de Referência Q_u/A_p KWh/m ² .ano	f_s	Eficiência Nominal de Referência η_{ref}	Fator de Conversão F_{conv} KWh ₁₂ /KWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_s \cdot \phi \cdot Q_u \cdot F_{conv} / \eta_s$ KWh ₁₂ /m ² .ano		
Sistema 1	Gás Propano	36,80	1,00	1	0,54	1	2201,19	68,15	Sistema 1	Gás Propano	36,80	1,00	0,89	1	41,35		
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		0,86	2,5	0,00	0,00	Sistema por defeito	Electricidade		0,00	0,95	2,5	0,00		
TOTAL								2201,19	68,15	TOTAL						41,35	

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{vm}	<input type="text" value="0"/> kWh/ano
Área útil de Pavimento A_p	<input type="text" value="32,3"/> m ²
Factor de Conversão F_{vm}	<input type="text" value="2,5"/> kWh ₁₂ /KWh
Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação	<input type="text" value="0,00"/> kWh ₁₂ /m ² .ano

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL	Produção de Energia	E_{ren}/A_p KWh/m ² .ano	Fator de Conversão F_{ren} KWh ₁₂ /KWh	Energia primária $E_{ren} \cdot F_{ren}$ KWh ₁₂ /m ² .ano
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Bombas de Calor	Renovável Térmica	0,00	1	0,00
	-	0,00	-	-
TOTAL				0,00

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento	303,67	KWh _p /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	21,70	KWh _p /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	68,13	KWh _p /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	KWh _p /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0,00	KWh _p /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _p	393,51	KWh _p /m ² .ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento	170,13	KWh _p /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	7,61	KWh _p /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	41,35	KWh _p /m ² .ano
	=	
Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária N _p	219,09	KWh _p /m ² .ano

ANEXO III – TABELAS DE CÁLCULO FOLHA ITECONS SOLUÇÃO DE MELHORIA

TOTAL					0,00	TOTAL					-	-	-				
COBERTURAS INTERIORES (SOB ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS)					Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	COBERTURAS INTERIORES (SOB ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS)					Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
TOTAL					0,00	TOTAL					-	-	-				
VÃOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS					Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	VÃOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS					Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
TOTAL					0,00	TOTAL					-	-	-				
VÃOS EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.					Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C	VÃOS EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.					Área A m ²	U W/m ² .°C	b _v	U.A.b _v W/°C
TOTAL					0,00	TOTAL					-	-	-				
PONTES TÉRMICAS LINEARES (APENAS PARA PAREDES DE SEPARAÇÃO PARA ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS COM b _v > 0,7)					Comp. B m	ψ W/m.°C	b _v	ψ.B.b _v W/°C	PONTES TÉRMICAS LINEARES (APENAS PARA PAREDES DE SEPARAÇÃO PARA ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS COM b _v > 0,7)					Comp. B m	ψ W/m.°C	b _v	ψ.B.b _v W/°C
Fachada com pavimento intermédio					8,98	0,60	0,80	4,31	Fachada com pavimento intermédio					8,98	0,50	0,80	3,59
Fachada com pavimento intermédio					8,98	0,60	0,80	4,31	Fachada com pavimento intermédio					8,98	0,50	0,80	3,59
TOTAL					8,62	TOTAL					-	-	-	7,18			

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} W/°C

A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO					A.8 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO						
PAREDES ENTERRADAS	Área m ²	U _{int} W/m ² .°C	A.U _{int} W/°C		PAREDES ENTERRADAS	Área m	U _{int} W/m ² .°C	A.U _{int} W/°C			
TOTAL					0,00	TOTAL					0,00

PAVIMENTOS ENTERRADOS					PAVIMENTOS ENTERRADOS						
Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade >= 0).	Área m ²	U _{if} W/m ² .°C	A.U _{if} W/°C		Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade >= 0).	Área m	U _{if} W/m ² .°C	A.U _{if} W/°C			
TOTAL					0,00	TOTAL					0,00

PAVIMENTOS TÊRREOS					PAVIMENTOS TÊRREOS						
Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade < 50) com ou sem	Área m ²	U _f W/m ² .°C	A.U _f W/°C		Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade < 50) com ou sem	Área m	U _f W/m ² .°C	A.U _f W/°C			
TOTAL					0,00	TOTAL					0,00

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{int} + H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{int} + H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ext} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

$$\begin{array}{r}
 \text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior } H_{\text{int}} \\
 \begin{array}{r}
 + \\
 15,75 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo } H_{\text{ext}} \\
 \begin{array}{r}
 + \\
 0,00 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{\text{t}} \\
 \begin{array}{r}
 = \\
 53,63 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior } H_{\text{int,REF}} \\
 \begin{array}{r}
 + \\
 17,96 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo } H_{\text{ext,REF}} \\
 \begin{array}{r}
 + \\
 0,00 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{\text{t,REF}} \\
 \begin{array}{r}
 = \\
 53,85 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}
 \end{array}$$

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 - \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{\text{RC}} \\
 \begin{array}{r}
 0,00 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{\text{ins}} \\
 \begin{array}{r}
 0 \\
 \hline
 \text{m}^3/\text{h}
 \end{array} \\
 \text{R}_{\text{ph},j} \cdot A_p \cdot P_d \\
 \begin{array}{r}
 38,76 \\
 \hline
 \text{m}^3/\text{h}
 \end{array} \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{\text{ve},\theta} \\
 \begin{array}{r}
 1,00 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{\text{ph},j} \\
 \begin{array}{r}
 0,40 \\
 \hline
 \text{h}^{-1}
 \end{array} \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p \\
 \begin{array}{r}
 32,30 \\
 \hline
 \text{m}^2
 \end{array} \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \\
 \begin{array}{r}
 3,00 \\
 \hline
 \text{m}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{\text{ve},j} \\
 \begin{array}{r}
 13,18 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}
 \end{array}$$

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{\text{ph},j,REF} \\
 \begin{array}{r}
 0,40 \\
 \hline
 \text{h}^{-1}
 \end{array} \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p \\
 \begin{array}{r}
 32,30 \\
 \hline
 \text{m}^2
 \end{array} \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \\
 \begin{array}{r}
 3,00 \\
 \hline
 \text{m}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{\text{ve},j,REF} \\
 \begin{array}{r}
 13,18 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}
 \end{array}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 - \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{\text{RC},v} \\
 \begin{array}{r}
 0 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{\text{ins}} \\
 \begin{array}{r}
 0 \\
 \hline
 \text{m}^3/\text{h}
 \end{array} \\
 \text{R}_{\text{ph},v} \cdot A_p \cdot P_d \\
 \begin{array}{r}
 58,14 \\
 \hline
 \text{m}^3/\text{h}
 \end{array} \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{\text{ve},\theta} \\
 \begin{array}{r}
 1,00 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array} \\
 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{\text{ph},v} \\
 \begin{array}{r}
 0,60 \\
 \hline
 \text{h}^{-1}
 \end{array} \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p \\
 \begin{array}{r}
 32,30 \\
 \hline
 \text{m}^2
 \end{array} \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \\
 \begin{array}{r}
 3,00 \\
 \hline
 \text{m}
 \end{array} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{\text{ve},v} \\
 \begin{array}{r}
 19,77 \\
 \hline
 \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{array}
 \end{array}$$

Folha de Cálculo C

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned} & 0,72 \\ & \times \\ \text{Ganhos internos médios } q_{int} &= \frac{4}{\quad} \text{ W/m}^2 \\ & \times \\ \text{Duração da estação de aquecimento } M &= \frac{6,20}{\quad} \text{ meses} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p &= \frac{32,3}{\quad} \text{ m}^2 \\ & = \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{int,j} &= \frac{576,75}{\quad} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.2 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno β_i	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{ob,j} = F_{ob,j} \cdot F_{s,j} \cdot F_{t,j}$	Fracção Envidraçada F_E	Área efectiva colectora $A_{e,j} = A_w \cdot F_{ob,j} \cdot F_E \cdot \beta_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora e Sul $X \cdot A_{e,j}$ m ²
1 (VE1)	Este	0,77	4,29	0,52	0,65	1,11	0,56	0,62
2 (VE1)	Este	0,77	4,29	0,52	0,65	1,11	0,56	0,62
3 (VE1)	Este	0,77	4,29	0,52	0,65	1,11	0,56	0,62
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_{ob,j} \cdot F_{s,j} \cdot F_{t,j}$ deve ser menor que 0,27;

Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_{s,j} \cdot F_{t,j}$ deve ser inferior ou igual a 0,9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.

TOTAL

1,87

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno $\beta_i \cdot g_{j,DMU}$	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{ob,j} = F_{ob,j} \cdot F_{s,j} \cdot F_{t,j}$	Fracção Envidraçada $F_E \cdot F_{s,j} \cdot F_{t,j}$	Área efectiva colectora $A_{e,j} = A_w \cdot F_{ob,j} \cdot F_E \cdot \beta_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora e Sul $X \cdot A_{e,j}$ m ²
-	-	-	-	-	-	-	-	-

No cálculo de $g_{j,DMU}$ e $g_{j,DMU}$ não deverão ser considerados os dispositivos de protecção solar móveis devendo considerar-se apenas dispositivos permanentes; caso não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, g_j será igual ao factor solar do vidro para uma incidência solar normal $g_{j,NM}$, afectado do factor de seletividade angular $F_{s,j}$.

TOTAL

0,00

$$\text{Área efectiva total equivalente na orientação a Sul} = \frac{1,87}{\quad} \text{ m}^2$$

$$\text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{sol} = \frac{130}{\quad} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$$

$$\text{Duração da estação de aquecimento } M = \frac{6,20}{\quad} \text{ meses}$$

$$\text{Ganhos solares brutos } Q_{sol,j} = \frac{1507,74}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\text{Ganhos internos brutos } Q_{int,j} = \frac{576,75}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

+

$$\text{Ganhos solares brutos } Q_{sol,j} = \frac{1507,74}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

=

$$\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{t,j} = \frac{2084,49}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{sol} = \frac{130}{\quad} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$$

\times

0,146

\times

0,15

\times

$$\text{Área útil de pavimento } A_p = \frac{32,30}{\quad} \text{ m}^2$$

$$\text{Duração da estação de aquecimento } M = \frac{6,20}{\quad} \text{ meses}$$

=

$$\text{Ganhos solares brutos } Q_{sol,j} = \frac{570,14}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

+

$$\text{Ganhos internos brutos } Q_{int,j} = \frac{576,75}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

=

$$\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{t,j} = \frac{1146,8902}{\quad} \text{ kWh/ano}$$

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 74,42 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{va,i} \quad 13,18 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad 87,59 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,250 \quad ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 74,42 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 2\,232,49 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,250 \quad ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{va,i} \quad 13,18 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{va,i} \quad 395,35 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} & \text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } O_{gb,i} \quad 2\,084,49 \quad \text{kWh/ano} \\ & \div \\ & \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{va,i} \quad 2\,627,84 \quad \text{kWh/ano} \\ & = \\ & \text{parâmetro } \gamma_i \quad 0,79 \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 83,03 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{va,i,REF} \quad 13,18 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} \quad 96,21 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,250 \quad ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 83,03 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 2\,490,85 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,250 \quad ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{va,i,REF} \quad 13,18 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{va,i,REF} \quad 395,35 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{array}{rcl}
 \text{parâmetro ai} & \boxed{4,20} & \text{W/}^\circ\text{C} \\
 \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i & \boxed{0,89} & \\
 \times & & \\
 \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & \boxed{2084,49} & \text{kWh/ano} \\
 = & & \\
 \text{Ganhos totais úteis } Q_{g,u,i} & \boxed{1851,81} & \text{kWh/ano}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i,REF} & \boxed{0,6} & \\
 \times & & \\
 \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i,REF} & \boxed{1146,89} & \text{kWh/ano} \\
 = & & \\
 \text{Ganhos totais úteis } Q_{g,u,i,REF} & \boxed{688,13} & \text{kWh/ano}
 \end{array}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} & \boxed{2232,49} & \text{kWh/ano} \\
 + & & \\
 \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{vr,i} & \boxed{395,35} & \text{kWh/ano} \\
 - & & \\
 \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{g,u,i} & \boxed{1851,81} & \text{kWh/ano} \\
 \text{(folha de cálculo 1.4)} & = & \\
 \text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} & \boxed{776,04} & \text{kWh/ano} \\
 + & & \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,30} & \text{m}^2 \\
 = & & \\
 \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{i,u} & \boxed{24,03} & \text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}
 \end{array}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} & \boxed{2490,85} & \text{kWh/ano} \\
 + & & \\
 \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{vr,i,REF} & \boxed{395,35} & \text{kWh/ano} \\
 - & & \\
 \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{g,u,i,REF} & \boxed{688,13} & \text{kWh/ano} \\
 = & & \\
 \text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} & \boxed{2198,07} & \text{kWh/ano} \\
 + & & \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{32,30} & \text{m}^2 \\
 = & & \\
 \text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{i,u} & \boxed{68,05} & \text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}
 \end{array}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 53,63 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ra,v} \quad 19,77 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 73,40 \quad \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 53,63 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \quad ^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \quad \text{horas} \\
 &\quad + \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 643,81 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ra,v} \quad 19,77 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \quad ^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \quad \text{horas} \\
 &\quad + \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ra,v} \quad 237,31 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 2200,72 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.5 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr} + Q_{re} = 881,12 \text{ kWh/ano} \\ & \text{parâmetro } \gamma_v = 2,50 \\ & \text{parâmetro } a_v = 4,20 \text{ W/m}^2\text{C} \\ & \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v = 0,40 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v = 0,83$$

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} & (1 - \eta_v) = 0,60 \\ & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,br} = 2200,72 \text{ kWh/ano} \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p = 32,30 \text{ m}^2 \\ & \text{Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{ar} = 41,21 \text{ kWh/m}^2\text{ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (1 - \eta_{v,ref}) = 0,17 \\ & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,br,ref} = 1739,42 \text{ kWh/ano} \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p = 32,30 \text{ m}^2 \\ & \text{Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_v = 9,13 \text{ kWh/m}^2\text{ano} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo G
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_u	f_u	δ	Eficiência Nominal η_n	Factor de Conversão F_{conv}	Necessidades de Energia Final $f_u \cdot \delta \cdot N_u / \eta_n \cdot A_p$	Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot N_u \cdot F_{conv} / \eta_n$	SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_u	f_u	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{n,ref}$	Factor de Conversão F_{conv}	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot N_u \cdot F_{conv} / \eta_n$
Sistema por defeito	Electricidade	kWh/m ² .ano	1,00		1	kWh _{el} /kWh	kWh/ano	kWh/m ² .ano	Sistema por defeito	Electricidade	kWh/m ² .ano	1,00	1	2,5	kWh _{el} /m ² .ano
							776,04	60,06							270,13
							TOTAL								TOTAL

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_u	f_u	δ	Eficiência Nominal η_n	Factor de Conversão F_{conv}	Necessidades de Energia Final $f_u \cdot \delta \cdot N_u / \eta_n \cdot A_p$	Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot N_u \cdot F_{conv} / \eta_n$	SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_u	f_u	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{n,ref}$	Factor de Conversão F_{conv}	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot N_u \cdot F_{conv} / \eta_n$
Sistema por defeito	Electricidade	kWh/m ² .ano	1,00		1	kWh _{el} /kWh	kWh/ano	kWh/m ² .ano	Sistema por defeito	Electricidade	kWh/m ² .ano	1,00	1	2,5	kWh _{el} /m ² .ano
							443,67	34,34							7,61
							TOTAL								TOTAL

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE ACS

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE ACS DE REFERÊNCIA

CONDUMO DE ACS		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de ACS								CONDUMO DE ACS DE REFERÊNCIA		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de ACS							
		consumo médio diário de referência M_{acp}	40		x	4187	x			consumo médio diário de referência M_{acp}	80		x	4187	x				
			2		x		aumento de temperatura ΔT		35	°C		2		x	aumento de temperatura ΔT		35	°C	
			1		x		nº de dias de consumo		365	dias		1		x	nº de dias de consumo		365	dias	
			80		x	3600000						80		x	3600000				
			32,3		x		Área útil de pavimento A_p		32,3	m ²		32,3		x		Área útil de pavimento A_p		32,3	m ²
			36,80		x		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de ACS $Q_{u,Ac}$		36,80	kWh/m ² .ano		36,80		x		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de ACS $Q_{u,Ac}$		36,80	kWh/m ² .ano
SISTEMA PARA ACS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil $Q_{u,Ac}$	f_u	δ	Eficiência Nominal η_n	Factor de Conversão F_{conv}	Necessidades de Energia Final $f_u \cdot \delta \cdot Q_{u,Ac} / \eta_n$	Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot Q_{u,Ac} \cdot F_{conv} / \eta_n$	SISTEMA PARA ACS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil de Referência $Q_{u,Ac}$	f_u	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{n,ref}$	Factor de Conversão F_{conv}	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot Q_{u,Ac} \cdot F_{conv} / \eta_n$				
Sistema 1	Electricidade	36,80	1,00		0,81	2,5	1467,46	113,58	Sistema 1	Electricidade	36,80	1,00	0,81	2,5	96,84				
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		0,99		0,00	0,00	Sistema por defeito	Electricidade		0,00	0,99		0,00				
							TOTAL	1467,46							TOTAL				

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

$$\begin{aligned} & \text{Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica } W_{vm} = 0 \text{ kWh/ano} \\ & \text{Área útil de Pavimento } A_p = 32,3 \text{ m}^2 \\ & \text{Factor de Conversão } F_{vm} = 2,5 \text{ kWh}_{el}/\text{kWh} \\ & \text{Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação } = 0,00 \text{ kWh}_{el}/\text{m}^2\text{ano} \end{aligned}$$

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento	60,06	kWh _{pp} /m ² .ano
+		
Energia primária para arrefecimento	34,34	kWh _{pp} /m ² .ano
+		
Energia primária para a preparação de ACS	133,58	kWh _{pp} /m ² .ano
+		
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{pp} /m ² .ano
-		
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0,00	kWh _{pp} /m ² .ano
=		
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _p	207,98	kWh _{pp} /m ² .ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento	270,13	kWh _{pp} /m ² .ano
+		
Energia primária para arrefecimento	7,61	kWh _{pp} /m ² .ano
+		
Energia primária para a preparação de ACS	96,84	kWh _{pp} /m ² .ano
=		
Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária N _p	274,58	kWh _{pp} /m ² .ano