



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

José Roberto Freire da Silva

AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS GANHOS DE
COMPORTAMENTO TÉRMICO E ENERGÉTICO
IMPLÍCITO NA PROPOSTA DO PROJETO
REABILITAR COMO REGRA

Dissertação no âmbito do Mestrado em Reabilitação de Edifícios
Ramo Não-Estrutural orientada pelos Professor Doutor Diogo Manuel
Rosa Mateus e Professor Doutor José António Raimundo Mendes da
Silva e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Março de 2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

José Roberto Freire da Silva

**AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS GANHOS DE
COMPORTAMENTO TÉRMICO E ENERGÉTICO
IMPLÍCITO NA PROPOSTA DO PROJETO
REABILITAR COMO REGRA**

**Tese no âmbito do Mestrado em Reabilitação de Edifícios
Ramo Não-Estrutural orientada pelos
Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus
Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva
e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra.**

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade,
legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Março de 2019

AGRADECIMENTOS

Profiro, de forma profunda, os meus mais sinceros agradecimentos aos caríssimos Orientadores:

Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus que com muita paciência e dedicação, proporcionou, a este neófito na reabilitação energética, a melhor construção do conhecimento, desde as aulas da disciplina no mestrado como também nas incontáveis sessões de orientação deste trabalho. Pelo orgulho ter trabalhado com um profissional tão competente e comprometido.

Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva que desde a colaboração para escolha do tema até as especiais sessões a três ofereceu, generosamente, o seu contributo assertivo e essencial. Pela honra e privilégio de tê-lo como orientador.

A todos, professoras e professores, que contribuíram para esta jornada académica de reciclagem profissional.

Aos queridos amigos, Ana Paula e João Braz, pelo apoio e espírito de equipa durante todos os trabalhos e Projeto.

Aos meus filhos Tomás e Taís pelos vossos amor e carinho.

A minha amada Viviane que abdicou da vida confortável e segura de que desfrutávamos para enfrentar os riscos e agruras desta aventura, em família, de resgate a mim. Pelo esforço, lealdade, companheirismo e por dar sentido a tudo isto.

RESUMO

Após os resultados conclusivos do projeto Reabilitar como Regra (RcR), o Governo publica o Decreto-Lei nº 95/2019, de 18 de julho, que define instrumentos legais específicos para as operações de reabilitação, dentre eles a Portaria nº 297/2019, de 9 de setembro, que estabelece um regime especial voltado as questões da metodologia do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e os requisitos do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

É sobre este regime alternativo que se pretende, com o presente trabalho, avaliar os potenciais ganhos de comportamento térmico e energético que, por circunstâncias diversas, não se apresentam explicitamente no corpo daquele diploma legal.

O estudo percorre os conceitos gerais da térmica e os requisitos do REH para os quais o regime especial propõe alternativas e estabelece uma comparação entre as duas metodologias de aplicação de requisito e cálculos. Através de casos de estudo, são feitas verificações numéricas de desempenho térmico e energético a fim de determinar os possíveis ganhos com a adoção daqueles requisitos opcionais.

Nas análises são levados em conta os princípios de valorização e preservação do existente, sustentabilidade ambiental e melhoria proporcional e progressiva no tratamento de questões da térmica que objetivam, essencialmente, a salubridade e o conforto higrotérmico dos habitantes, em um cenário de consumo energético compatível com a realidade do País.

Questões relativas a investimento, retorno financeiro e custo benefício também são abordadas para avaliação dos ganhos implícitos na proposta do projeto Reabilitar como Regra.

Palavras-chave: Comportamento térmico de edifícios, Desempenho energético de edifícios, Reabilitação energética de edifícios, Reabilitar como Regra.

ABSTRACT

After conclusive results from the Rehabilitate as Rule (RcR) project, the Government publishes Decree-Law No. 95/2019, of July 18, which defines specific legal instruments for rehabilitation operations, among them Ordinance No. 297/2019, of 9 September, which establishes a special regime aimed at issues of the methodology of the Energy Certification System for Buildings (SCE) and the requirements of the Regulation on Energy Performance of Housing Buildings (REH).

It is about this alternative regime that it is intended, with the present work, to evaluate the potential gains of thermal and energetic behavior that, due to different circumstances, are not explicitly presented in the body of that legal diploma.

The study goes through the general concepts of thermal and the requirements of REH for which the special regime proposes alternatives and establishes a comparison between the two methodologies of application of requirement and calculations. Through case studies, numerical checks of thermal and energetic performance are made in order to determine the possible gains with the adoption of those optional requirements.

The analyzes take into account the principles of valuing and preserving the existing, environmental sustainability and proportional and progressive improvement in the treatment of thermal issues that essentially aim at the health and hygrothermal comfort of the inhabitants, in a scenario of energy consumption compatible with the reality of the country.

Investment, financial return and cost benefit issues are also addressed to assess the gains implicit in the Rehabilitate as Rule project proposal.

Keywords: Thermal behavior of buildings, Energy performance of buildings, Energy rehabilitation of buildings, Rehabilitate as Rule.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia e recursos	4
1.4 Organização do trabalho.....	4
2 CONCEITOS GERAIS E REQUISITOS TÉRMICOS	6
2.1 Enquadramento.....	6
2.2 Conceitos fundamentais	6
2.2.1 Necessidades nominais de energia primária.....	6
2.2.2 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento.....	7
2.2.3 Transferência de calor por transmissão	8
2.2.4 Transferência de calor por renovação de ar.....	11
2.2.5 Ganhos térmicos	11
2.3 Requisitos exigidos pelo REH.....	12
2.3.1 Coeficientes de transmissão térmica superficiais.....	13
2.3.2 Coeficiente de transmissão térmica linear.....	14
2.3.3 Fatores solares de vãos envidraçados.....	17
2.3.4 Critérios de ventilação.....	18
2.3.5 Relação entre necessidades nominais e limite de energia primária.....	19
2.4 Requisitos exigidos pelo DL 95/2019	20
2.4.1 Custos-padrão.....	20

2.4.2	Coeficientes de transmissão térmica superficiais.....	21
2.4.3	Coeficiente de transmissão térmica linear.....	22
2.4.4	Fatores solares de vãos envidraçados.....	22
2.4.5	Critérios de ventilação.....	23
2.4.6	Relação entre necessidades nominais e limite de energia primária.....	24
2.5	Notas finais.....	24
3	ANÁLISE COMPARATIVA – REH E DL 95/2019.....	25
3.1	Premissa da comparação.....	25
3.2	Coeficientes de transmissão térmica superficiais.....	25
3.2.1	Elementos da envolvente opaca.....	25
3.2.2	Vãos envidraçados.....	26
3.3	Coeficiente de transmissão térmica linear.....	28
3.4	Fatores solares de vãos envidraçados.....	35
3.5	Critérios de ventilação.....	36
3.6	Relação entre necessidades nominais e limite de energia primária.....	36
3.7	Notas Finais.....	37
4	CASO DE ESTUDO.....	38
4.1	Contextualização.....	38
4.2	Coeficientes de transmissão térmica superficiais.....	39
4.2.1	Elementos opacos verticais - Paredes.....	39
4.2.2	Elementos opacos horizontais - Coberturas.....	41
4.3	Perdas térmica linear.....	43
4.4	Fatores solares de vãos envidraçados.....	44
4.5	Necessidades nominais anuais de energia útil.....	46
4.5.1	Necessidade nominal anual de energia útil para aquecimento.....	46
4.5.2	Necessidade nominal anual de energia útil para arrefecimento.....	47
4.6	Necessidades nominais e máximas de energia primária.....	47
4.7	Repercussões económicas.....	49
4.7.1	Custos de intervenção.....	49
4.7.2	Custo anual de energia.....	51
4.8	Outros pontos importantes.....	52
4.8.1	Inércia térmica.....	53

4.8.2	Coeficiente de absorção solar.....	55
4.8.3	Proteção dos vãos envidraçados	55
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	57
5.1	Conclusões.....	57
5.2	Trabalhos futuros.....	58
6	BIBLIOGRAFIA.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classe Energética (ADENE).....	7
Figura 2.2 – Parâmetros de transmissão térmica (original do autor).....	10
Figura 2.3 – Parâmetros de ganhos térmicos (original do autor).....	12
Figura 2.4 – Tabela I.05B (Portaria n.º379-A/2015).....	14
Figura 2.5 – Tabela I.02 (Portaria n.º 349-B/2013).....	15
Figura 2.6 – Tabela 07 (Despacho n.º 15793-K/2013).....	16
Figura 2.7. – Tabela I.06 (Portaria n.º349-B/2013).....	17
Figura 2.8 – Quadro 1 e Quadro 2 (NP 1037-1).....	19
Figura 2.9 – Tabela I.04 (Portaria n.º349-B/2013).....	20
Figura 2.10 – Quadro I (Portaria 297/2019, de 9 de setembro).....	21
Figura 2.11 – Quadro II (Portaria n.º 297/2019).....	21
Figura 2.12 – Quadro IV (Portaria n.º 297/2019).....	22
Figura 2.13 – Quadro III (Portaria n.º 297/2019).....	23
Figura 3.1 – Hipóteses construtivas (original do autor).....	28
Figura 4.1 – Planta de situação e alçados (Caso de estudo).....	38
Figura 4.2 – Síntese da evolução paredes exterior em Portugal (Sousa, 1996).....	41

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Comparação dos $U_{máx}$ da envolvente opaca	26
Quadro 3.2 – Comparação dos $U_{máx}$ dos vãos envidraçados	27
Quadro 3.3 – Transferência de calor na unidade A (valores por defeito)	31
Quadro 3.4 – Transferência de calor na unidade A (valores de catálogo).....	32
Quadro 3.5 – Transferência de calor na unidade B (valores por defeito).....	33
Quadro 3.6 – Transferência de calor na unidade B (valores de catálogo).....	34
Quadro 3.7 – Comparação dos máximos admissíveis $g_{Tmáx}$	35
Quadro 4.1 – Comparativo $U_{solução}$ e $U_{máx}$ DL 95/2019 - Paredes.....	40
Quadro 4.2 – Coberturas - $U_{solução}$ com isolamento térmico	42
Quadro 4.3 – Coberturas - $U_{solução}$ sem isolamento térmico.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Total das transmissões pela envolvente opaca vertical.....	43
Tabela 4.2 – Total das transmissões pelas pontes térmicas lineares	44
Tabela 4.3 – Comparativo $g_{Tmáx}$ REH e $g_{Tmáx}$ DL 95/2019	45
Tabela 4.4 – Reabilitação térmica a atender REH	50
Tabela 4.5 – Reabilitação térmica a atender DL 95/2019	50
Tabela 4.6 – Retorno do investimento a 100%.....	51
Tabela 4.7 – Retorno do investimento a 30%.....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	46
Gráfico 4.2 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento.....	47
Gráfico 4.3 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária.....	47
Gráfico 4.4 – Relação N_{tc}/N_t a utilizar energia renovável	48
Gráfico 4.5 – Relação N_{tc}/N_t sem energias renováveis.....	49
Gráfico 4.6 – Necessidades nominais de energia para aquecimento.....	53
Gráfico 4.7 – Necessidades nominais de energia para arrefecimento	54
Gráfico 4.8 – Influência da coeficiente de absorção solar sobre o N_{vc}	55
Gráfico 4.9 – Influência da proteção dos envidraçados sobre o N_{vc}	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Dentre as prioridades das políticas governamentais atuais, têm função crucial a habitação e a reabilitação (urbana e do edificado), ambas com vista à melhoria da qualidade de vida das populações, à revitalização e competitividade das cidades e à coesão social e territorial.

Para que a reabilitação seja a forma preponderante de intervenção no edificado e na reabilitação urbana, o Governo criou o projeto “Reabilitar como Regra” (RcR), instituído pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 170/2017 de 9 de novembro, cujo objetivo era a revisão do regime jurídico da construção “de modo a adequá-lo às exigências e especificidades da reabilitação”.

Com a conclusão do projeto RcR, o Governo publica o Decreto-Lei nº 95/2019, de 18 de julho, no qual determina “que sejam definidos em portaria os requisitos funcionais da habitação e da edificação em conjunto, criando regras claras para a reabilitação de edifícios ou frações autónomas”. Para o presente estudo, a Portaria nº 297/2019, de 9 de setembro, tem especial interesse pois institui alternativa à Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, esta que define a metodologia do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e os requisitos do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

Uma das principais virtudes deste decreto-lei reside na possibilidade de revogar-se o regime excecional e temporário para a reabilitação de edifícios, estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril, no qual as intervenções aos edifícios de habitação eram dispensadas de atender a várias das normas técnicas da construção tendo como parca justificação a idade dos edifícios. No caso da térmica este decreto-lei tornou-se revogado em 2015 pelo Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de Setembro.

O Decreto-Lei nº 95/2019, dispõe, em seu Capítulo I, Art. 2º, nº1, alínea c), sobre âmbito de aplicação deste dispositivo legal na esfera do comportamento térmico e eficiência energética em edifícios. Prescreve que sua aplicabilidade circunscreva as “operações de reabilitação realizadas em edifícios ou frações autónomas, sempre que estes se destinem a ser total ou predominantemente afetos ao uso habitacional” além de que “o procedimento de controlo prévio aplicável à sua construção tenha ocorrido em data anterior à entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro”.

No Capítulo II do mesmo decreto-lei, a manifestação dos “Princípios fundamentais da reabilitação de edifícios e frações”, que alicerçam a estratégia governamental, é de capital importância como referência de propósitos para a presente análise. Por esta razão é que muitas

das conclusões a que se pretende chegar com este trabalho têm como motivação esses mesmos princípios, quais sejam:

- Princípio da proteção e valorização do existente;
- Princípio da sustentabilidade ambiental; e
- Princípio da melhoria proporcional e progressiva.

Por se tratar de edifícios existentes, as condicionantes relativas à obra em termos de valores estéticos, compositivos e dimensionais obtêm amparo no princípio da proteção e valorização do existente, aliada a uma lógica de intervencionar com menor pegada ecológica – de baixos consumos, emissões e resíduos – validada pelo princípio da sustentabilidade ambiental.

No que refere o comportamento térmico e eficiência energética, o Decreto-Lei nº 95/2019 almeja, através da conciliação do consumo racional de energia com atributos de conforto e salubridade das habitações, compatíveis com os hábitos e modos de vida do País, incentivar a melhoria progressiva e proporcional do desempenho térmico dos edifícios.

Como contributo adicional a este último princípio, destaca-se a colmatação da lacuna para o atingimento do objetivo do REH de melhoria do comportamento térmico que, na prática, por vezes, não é alcançado em virtude de um dos dois tipos de atitudes nefastas face as condicionantes construtivas dos edifícios existentes a intervencionar.

A primeira atitude é a de não se prever, em projeto, nenhuma implementação de melhoria no comportamento térmico, em vista da impossibilidade de atender os requisitos do regulamento, e na obra aplicar um melhoramento compatível com as restrições físicas da edificação mas incapaz de cumprir as exigências regulamentares.

A segunda, talvez mais nociva, a indicação em projeto de uma solução observante a norma porém inexecutável no edifício real, agravada pela confirmação técnica de que tal solução foi implementada na obra, conforme projeto. Neste caso está a se prestar uma informação enganosa ao consumidor que adquire ou arrenda o imóvel.

Acrescentam-se ao princípio da melhoria proporcional e progressiva, as questões de custo, em especial, com o aditamento, do Art. 29º-A, no Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto, pelo Decreto-Lei 95/2019. Neste artigo, em seu número 2, fica esclarecido que a “metodologia [...] é feita em função do tipo de edifício e do custo de intervenção [...]”.

Volta-se à já citada Portaria nº 297/2019, de 9 de setembro - quarta alteração à Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro - para mencionar seus artigos 3.º e 4.º. Com estes dois artigos, o anexo da Portaria n.º 349-B/2013 passa a nomear-se anexo I e adita-se a esta portaria o anexo II, ou seja, instaura-se a coexistência de duas metodologias: uma obrigatória para edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção e outra aplicável, opcionalmente, a intervenções

em edifícios cuja construção ocorrera antes da vigência do Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro. Adiante, estas metodologias serão denominadas de modelo REH e modelo DL 95/2019, respetivamente.

É importante ressaltar que os requisitos do REH podem ser aplicados a qualquer magnitude de intervenção o que se tem de novo é uma alternativa ao não cumprimento de requisitos.

Cumpra ainda lembrar que o Decreto-Lei 118/2013 sofreu modificações, com o passar do tempo, e a que está em vigor atualmente são as determinações do Decreto-Lei 28/2016, de 23 de junho.

Portanto, importa destacar o que menciona o Decreto-Lei 28/2016, no seu preâmbulo,

[...] no que se refere ao conceito de viabilidade económica como base para a justificação do cumprimento da aplicação dos requisitos mínimos de desempenho energético nas intervenções junto dos edifícios, cumpre salientar que a viabilidade económica necessária para o cumprimento dos requisitos mínimos de desempenho energético não deve estar associada a uma mera faculdade do investidor, estando antes explicitamente interligada com os estudos que suportam os níveis ótimos de rentabilidade, nomeadamente, aqueles que Portugal já desenvolveu e foram notificados à Comissão, tendo os respetivos resultados sido incorporados nas respetivas peças legislativas entretanto publicadas como requisitos mínimos a serem cumpridos.

Com isto, percebe-se que as questões económicas têm um espectro mais amplo do que a perspectiva do investidor sendo encargo e dever dos profissionais envolvidos compreender a abrangência de suas decisões em projeto e obra.

1.2 Objetivos

Com o este estudo pretende-se verificar os potenciais ganhos com a aplicação dos requisitos do modelo DL 95/2019, diante das expectativas de repercussões económicas que fomentem a dinamização alargada da reabilitação de edifícios, no que se refere à adoção prioritária de meios passivos adequados e, eventualmente, justapondo consumos de energia realistas e compatíveis com a capacidade económica dos diversos setores da população.

De outra forma, questiona-se se “o regime especial para [...] reabilitação de edifícios existentes destinados [...] ao uso habitacional”, de acordo com a Portaria n.º 297/2019, considerando os hábitos de consumo de energia e conforto da população, promoverá um comportamento térmico e energético destes edifícios de forma a considerá-los eficientes. Sem esquecer, entretanto, os

três princípios basilares da proposta: proteção e valorização do existente, sustentabilidade ambiental e melhoria proporcional e progressiva.

Ademais, considerando que, de antemão, os requisitos estabelecidos pelo REH geram resultados que se refletem em classe energética melhor, tenciona-se apurar e evidenciar os ganhos relativos em termos de comportamento térmico e energético implícito na proposta do RcR, melhor dizendo, no modelo DL 95/2019.

1.3 Metodologia e recursos

A abordagem investigativa serviu-se de um método composto por duas partes fundamentais.

Na primeira parte do trabalho é efetuada uma análise comparativa entre o REH e o DL 95/2019 utilizando várias soluções construtivas correntes na reabilitação de edifícios e alguns casos de estudo simples, orientado a comparação sobretudo para os parâmetros com requisitos regulamentares distintos nestes dois dispositivos legais.

Nesta etapa aprofundou-se a perceção dos diversos Despachos e Portarias que compõe a metodologia de cálculo do REH.

Na segunda parte é utilizado um caso de estudo mais complexo, um edifício de habitação, colocado em vários cenários climáticos diferentes e com diversos tipos de soluções construtivas, onde é efetuada uma comparação global dos consumos potenciais para aquecimento e para arrefecimento do edifício, explorando os cenários de cumprimento do REH e de cumprimento do DL 95/2019, menos exigente.

Para a produção de resultados comparáveis, foi utilizada a Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo REH, Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto, com a nova redação dada pela Lei n.º 52/2018, de 20 de Agosto, a qual será referida como folha de cálculo do REH.

1.4 Organização do trabalho

Após explanar, no corpo deste capítulo introdutório, a motivação contextualizada, os objetivos a serem alcançados, a metodologia de abordagem e os recursos utilizados no desenvolvimento, estabelece-se, em seguida, a organização do trabalho.

No segundo capítulo são apresentados conceitos gerais da térmica, fundamentais a compreensão ampla do cenário de investigação, bem como requisitos específicos, do REH e do DL 95/2019, os quais estabelecem correspondência entre si para, em capítulo posterior, compará-los.

Estabelece-se, no terceiro capítulo, uma relação entre aqueles requisitos específicos levantados no capítulo anterior e comparam-nos, para que sejam levantadas inferências a partir destas comparações.

O quarto capítulo reservou-se ao exame de casos de estudo com os quais foram levantados dados numéricos que pudessem proporcionar maior sustentação às hipóteses concebidas durante o processo de investigação.

Por fim, o quinto capítulo compila as conclusões a cerca de todo o estudo desenvolvido bem como propõe direcionamentos para trabalhos futuros no âmbito desta matriz temática.

2 CONCEITOS GERAIS E REQUISITOS TÉRMICOS

2.1 Enquadramento

O presente capítulo está estruturado da seguinte forma: na secção 2.2, conceituam-se os parâmetros mais relevantes de caracterização térmica dos edifícios, na 2.3, são expostos os requisitos da metodologia do REH para os quais o DL 95/2019 propõe alternativas e, à 2.4 abordam-se os requisitos, opcionais, propostos pelo DL 95/2019.

Este capítulo não se propõe a uma explanação exaustiva dos conceitos da térmica, tão pouco um aprofundamento pormenorizado nas questões normativas estabelecidas no REH e no DL 95/2019. Pelo contrário, quer-se, de forma sucinta, apresentar as principais definições e critérios para avaliação do comportamento térmico e energético dos edifícios, bem como os pontos mais importantes para estabelecer uma comparação entre aqueles dois regulamentos.

2.2 Conceitos fundamentais

Importa dizer que alguns dos conceitos a seguir não incidirão como parâmetros para fundamentar a análise no comparativo entre as duas metodologias em questão, contudo, cumpre esclarecer os vários aspetos que podem influenciar o cálculo térmico de um edifício.

Ressalta-se, ainda, que o processo como um todo, no que se refere aos conceitos e a abordagem, é plenamente válido para o REH e para o DL 95/2019, com alguns ajustes paramétricos proposto pelo regime especial, a ver adiante.

2.2.1 Necessidades nominais de energia primária

Pretende-se explicar, a partida, o que para os consumidores é mais evidente a respeito da eficiência energética e que está expresso nos certificados energéticos, a classe energética. A classe energética é o resultado da razão entre as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{ic}) e as necessidades nominais limite máximo anual de energia primária (N_t), ou seja (N_{ic}/N_t) que resulta em um percentual de desempenho (figura 2.1).

Como energia primária entenda-se, a energia que pode ser utilizada diretamente ou que vai ser sujeita a transformação, proveniente de fontes renováveis ou não renováveis.

Utiliza-se para calcular tanto o N_{ic} e o N_t uma mesma expressão sendo que para o primeiro são considerados os valores e condições das soluções previstas ou instaladas no edifício e no segundo os tais valores e condições são substituídos por referências indicadas em tabelas. Os resultados para as duas condições são expressos em [$kWh_{EP}/(m^2.ano)$].

Reduzindo a expressão aos seus termos mais relevantes, à luz deste trabalho, poderia ser dito que para determinar os valor de N_{ic} e N_t são essenciais a definição das necessidades nominais anuais, de energia útil, para aquecimento e arrefecimento bem como para preparação de água quente sanitária (AQS).

Entenda-se como água quente sanitária (AQS) a água potável aquecida por sistema específico, para que atinja temperatura superior a 45°C, com finalidade de banhos, limpezas, cozinha ou similares.

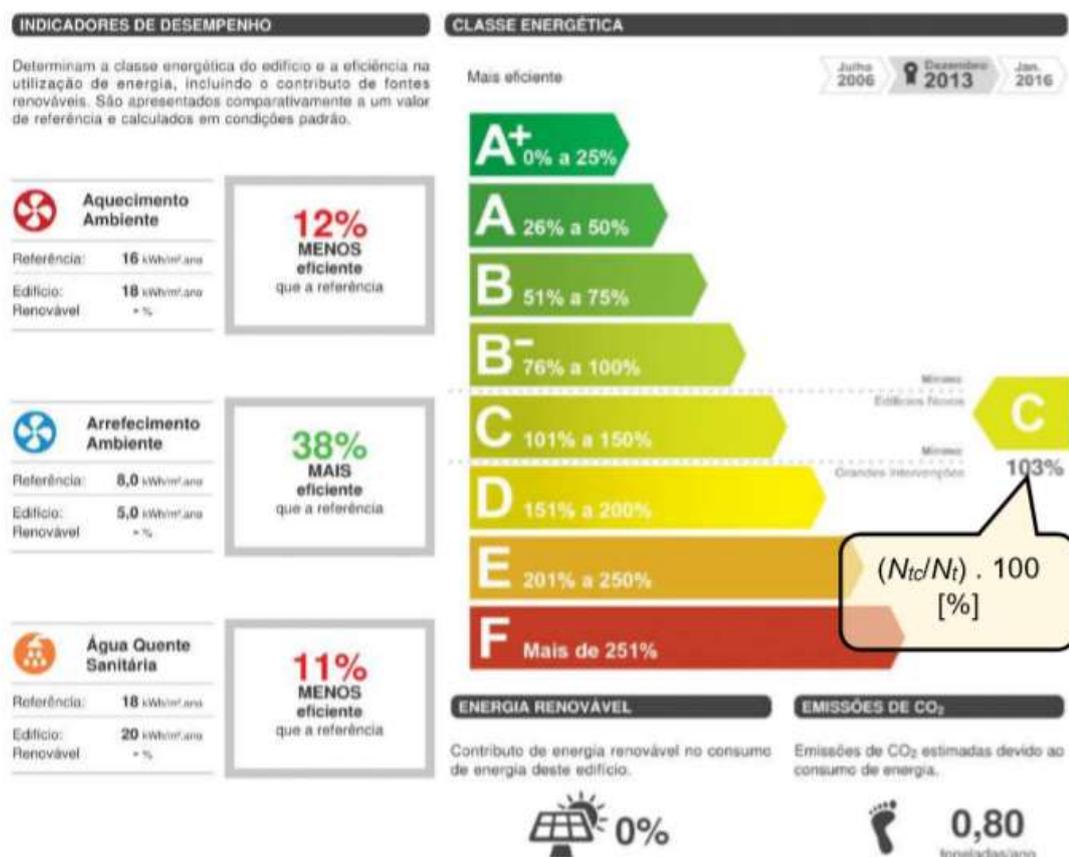


Figura 2.1 – Classe Energética (ADENE)

2.2.2 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento

Analogamente às necessidades nominais anuais de energia primária, N_{ic} e N_i , suas componentes de necessidades nominais anuais de energia útil também se apresentam com um resultado para o edifício dito real e outro para o modelo de referência, expressos em $[kWh/m^2.ano]$, como segue:

- para aquecimento (N_{ic}) e para arrefecimento (N_{vc}) são calculadas com valores das soluções previstas ou instaladas no edifício; e
- limite máximo para aquecimento (N_i) e limite máximo para arrefecimento (N_v) que tomam como base de cálculo valores de referência.

A expressão, para cálculo das necessidades, varia conforme seja referente a estação de aquecimento ou arrefecimento, sem levar em conta nenhum equipamento, somente as soluções construtivas.

Para o cálculo dos N_{ic} e N_i , ou seja, estação de aquecimento, há que se apurar:

- Transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,i}$) em kWh ;
- Transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,i}$) em kWh ;
- Ganhos de calor úteis, pelos envidraçados e de fontes internas ($Q_{gu,i}$) em kWh ; e
- Área útil de pavimento do edifício medida pelo interior (A_p) em m^2 .

Todavia, na definição dos N_{vc} e N_v , isto é, estação de arrefecimento, são precisos:

- Fator de utilização de ganhos para a estação de arrefecimento (η_v);
- Ganhos térmicos pelo radiação solar sobre a envolvente opaca e envidraçada e de fontes internas de calor ($Q_{g,v}$); e
- Área útil de pavimento do edifício medida pelo interior (A_p) em m^2 .

Importante é que o fator de utilização de ganhos para a estação de arrefecimento (η_v) calcula-se a partir de:

- Transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,v}$) em kWh ; e
- Transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,v}$) em kWh .

Embora pareça intuitivo, reforça-se que a área útil (A_p) é a mesma em ambas as expressões.

2.2.3 Transferência de calor por transmissão

Ao descerrar os parâmetros necessários para determinar a transferência de calor por transmissão da envolvente nas estações de aquecimento e arrefecimento ($Q_{tr,i}$ e $Q_{tr,v}$) observa-se que estes são diferentes nas suas respetivas equações.

Para transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ($Q_{tr,i}$) utiliza-se o número de graus-dias de aquecimento (GD) em [$^{\circ}C \cdot dia$], especificados para cada região NUTS III, para determinar a transferência. Compreende-se grau-dia (GD) como o parâmetro que representa o somatório das diferenças positivas entre T_i (temperatura interior de projeto) e T_a (temperatura do ambiente exterior) média, ao longo da estação de aquecimento.

Na estação de arrefecimento, a transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$) usam-se três fatores:

- Temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a $25^{\circ}C$ ($\theta_{v,ref}$);
- Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento ($\theta_{v,ext}$) em [$^{\circ}C$]; e
- Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas (L_v).

Porém, tanto na estação de aquecimento quanto na de arrefecimento aplica-se o coeficiente global de transferência de calor por transmissão (H_{tr}) para o qual são requeridos uma série de outros parâmetros relativos aos elementos construtivos, entre eles os que se segue (figura 2.2).

- a) Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (U , em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) - a quantidade de calor que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa;
- b) Coeficiente de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref} , em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) - o valor previsto em tabela, para elementos opacos e envidraçados, em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática;
- c) Coeficiente de transmissão térmica através de envidraçado (U_w , em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) - a quantidade de calor que atravessa a superfície de área unitária de uma janela por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ela separa, sendo este coeficiente aplicável a locais com ocupação predominantemente diurna, não de considerando a utilização de eventuais dispositivos de oclusão noturna do vão.
- d) Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (U_{wdn} , em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) - a média entre os coeficientes de transmissão térmica de um vão envidraçado, com a proteção em posição aberta (típica do período diurno) e fechada (próprio do noturno), a qual se adota como elemento para o cálculo das perdas térmicas pelos vãos envidraçados de um edifício em que ocorra ocupação noturna significativa;
- e) Coeficiente de transmissão térmica linear (ψ , em $[W/(m \cdot ^\circ C)]$) - a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma ponte térmica linear de elementos da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que os elementos separam;
- f) Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) - o valor que traduz a redução da transmissão de calor nas situações em que a temperatura do espaço não útil ou do edifício adjacente está compreendida entre a temperatura interior de referência do espaço interior útil e a temperatura exterior;
- g) Coeficiente de transmissão térmica através de elementos em contacto com o solo (U_b) em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ - o valor determinado conforme tabela, em função da resistência térmica dos materiais do elemento sem resistências térmicas superficiais e da relação dimensional entre o elemento construtivo e o seu contacto com o solo;
- h) Condutibilidade térmica de um material (λ) em $[W/(m \cdot ^\circ C)]$ ou $[W/(m \cdot K)]$ - o valor que representa a quantidade de calor, em $[W/m^2]$, que atravessa uma espessura unitária, em $[m]$, deste material, que entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura ($1^\circ C$ ou $1 K$);

- i) Ponte térmica linear (*PTL*) - a heterogeneidade inserida em zona corrente, no cruzamento/junção de elementos da envolvente, onde não é possível medir uma área associada de perda térmica, mas sim um comprimento;

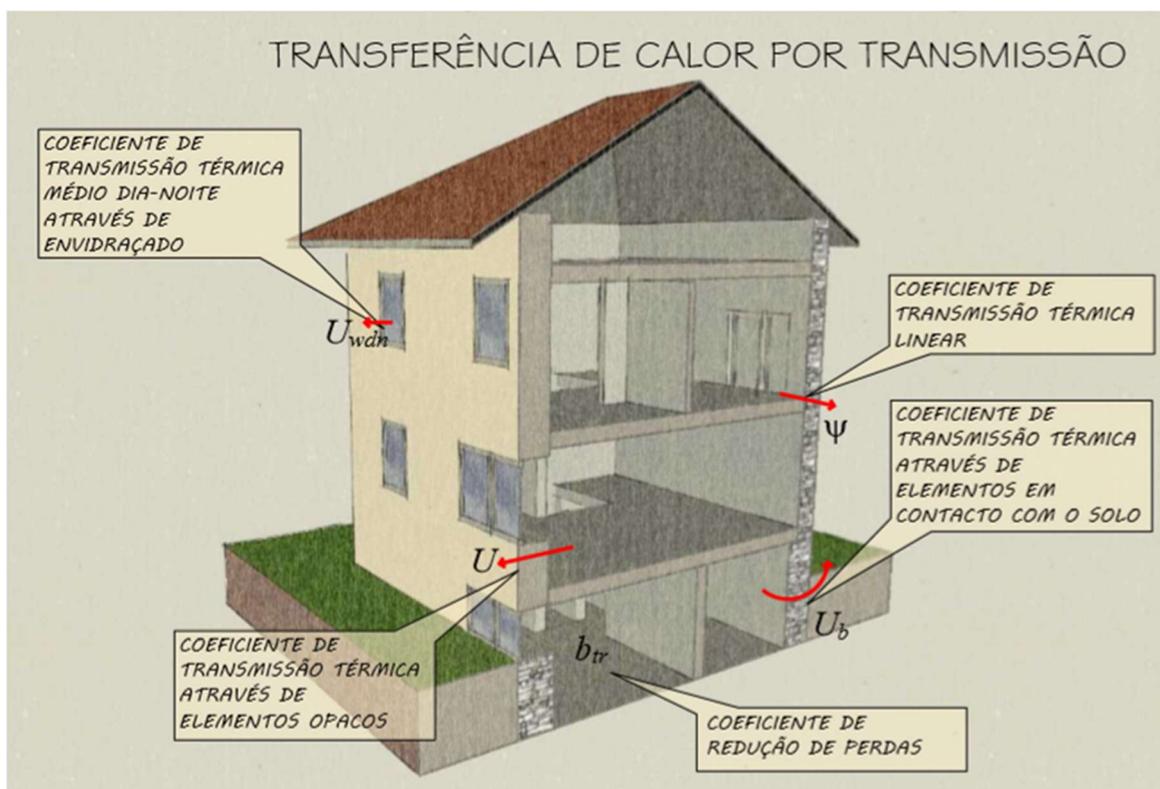


Figura 2.2 – Parâmetros de transmissão térmica (original do autor)

- j) Ponte térmica plana (*PTP*) - a heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, a exemplo de pilares e talões de viga ou caixas de estore, para as quais podem ser medidas uma área associada a perda térmica;
- k) Resistência térmica de um material (R) em $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$ - a dificuldade de transmissão de calor que é determinada pelo quociente entre a espessura do material, em $[m]$, e a sua condutibilidade térmica (λ , em $[W/(m \cdot ^\circ C)]$);
- l) Resistências térmicas superficiais interior e exterior (R_{si} e R_{se}) em $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$ - os valores convencionais a adotar no cálculo dos coeficientes de transmissão térmica (U) em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, de elementos de construção corrente;

2.2.4 Transferência de calor por renovação de ar

Fundamental para a garantia da qualidade do ar interior e consequente salubridade dos ambientes construídos, a renovação de ar traz consigo questões de conforto higrotérmico. Através dos caudais ventilação de ar são provocadas trocas de calor do interior com o exterior.

Analogamente a transferência de calor por transmissão da envolvente, também nas transferências de calor por renovação de ar nas estações de aquecimento e arrefecimento ($Q_{ve,i}$ e $Q_{ve,v}$) há dissemelhanças entre nas suas equações que se demonstram no uso do GD para o cálculo na estação de aquecimento e para a de arrefecimento a diferença entre $(\theta_{v,ref})$ e $(\theta_{v,ref})$.

Para o cálculo da transferência por renovação de ar nas estações de aquecimento e de arrefecimento ambas utilizam o coeficiente global de transferência de calor por ventilação (H_{ve}) no qual opera-se o produto entre:

- Taxa nominal de renovação do ar interior (R_{ph}) em [m^3/h];
- Área interior útil de pavimento, medida pelo interior (A_p) em [m^2]; e
- Pé direito médio da fração (P_d) em [m].

2.2.5 Ganhos térmicos

Através da soma dos ganhos térmicos associados a fontes internas (Q_{int}) com os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente – sobre os vãos envidraçados, na estação de aquecimento ($Q_{sol,i}$) e sobre os vãos envidraçados e envolvente exterior opaca, na estação de arrefecimento ($Q_{sol,v}$) – calculam-se os ganhos térmicos brutos para a estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) e de arrefecimento ($Q_{g,v}$). Embora sem apresentá-las, importa lembrar que existem diferenças na forma de calcular os ganhos nas duas estações.

Para a estação de aquecimento existe, ainda, a conversão dos ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$) em ganhos térmicos úteis ($Q_{gu,i}$).

Abaixo, listam-se alguns dos diversos parâmetros que interferem no cálculo dos ganhos térmicos (figura 2.3).

- a) Coeficiente de absorção da radiação solar (α): o valor determinado em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento;
- b) Fração envidraçada (F_g): o valor típico estabelecido em tabela para determinar o percentual de vidro relativamente ao tipo de caixilharia;
- c) Fator solar de vãos envidraçados (g): o valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente;
- d) Fator de correção da seletividade angular (F_w): o valor que traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta;

- e) Fator de obstrução (F_s): o valor que representa a redução na radiação solar que incide nos vãos envidraçados devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos;
- f) Fator de utilização de ganhos (η): o valor calculado, tanto para estação de aquecimento (η_i) como para a de arrefecimento (η_v), de acordo com equações que se definem em função da relação entre os ganhos térmicos brutos na estação em estudo e a soma da transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício com a transferência de calor por ventilação, na estação em estudo;
- g) Inércia térmica interior de uma fração autónoma: é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam, e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção;

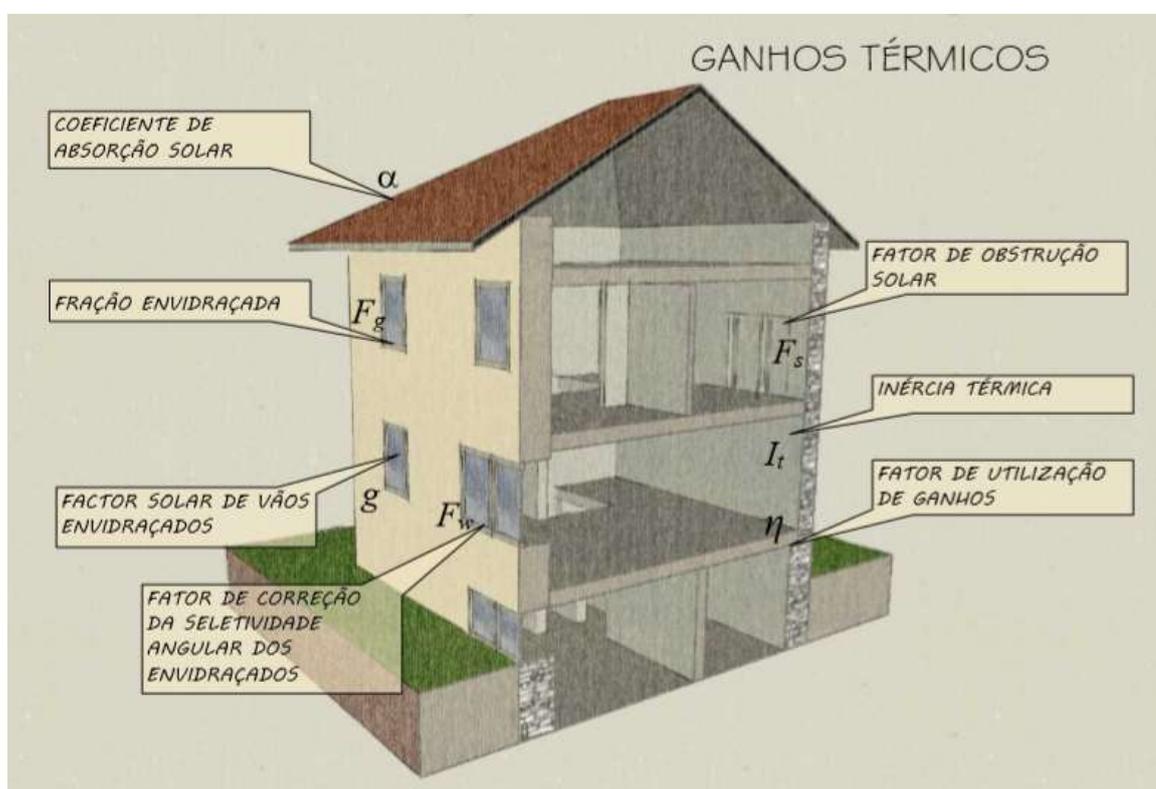


Figura 2.3 – Parâmetros de ganhos térmicos (original do autor)

2.3 Requisitos exigidos pelo REH

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), anexo constante da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, é a primeira versão da metodologia para

determinação da classe de desempenho energético, bem como os requisitos de comportamento térmico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.

Recorda que o Decreto-Lei 118/2013, que estabeleceu este regulamento, sofreu diversas alterações ao longo do tempo sendo a que vigora atualmente, em termos correntes, são as determinadas pelo Decreto-Lei 28/2016, de 23 de junho. Entenda-se que o Decreto-Lei 98/2019, formalmente, é uma modificação ao Decreto-Lei 118/2013 mas trata-se de um regime especial, alternativo.

Para pormenorizar os requisitos indicados no REH, a respeitar o critério de escolha estabelecido, nomeadamente, estar sujeito a opção alternativa proposta no modelo DL 95/2019, selecionam-se os que se seguem.

2.3.1 Coeficientes de transmissão térmica superficiais

Quando da publicação da Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, que procedeu a primeira alteração no modelo REH, incluiu-se uma tabela que passou a sujeitar, além da envolvente opaca, também os vãos envidraçados a valores máximos.

Portanto, a partir de 31 de dezembro de 2015, os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados ($U_{máx}$) [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], passam a ser os da tabela I.05B (figura 2.4). Estes valores também representam os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência (U_{ref}).

Tabela I.05B

Requisitos energéticos — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados, $U_{máx}$ [W/(m².°C)]

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Regiões Autónomas				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

Nota 1: Os requisitos indicados na presente tabela, poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas.

Nota 2: O cumprimento dos requisitos previstos ao nível dos vãos envidraçados poderá ser avaliado tendo em conta o contributo de eventuais dispositivos de proteção, podendo nesta circunstância basear-se no respetivo valor de U_{vidr} .

Figura 2.4 – Tabela I.05B (Portaria n.º379-A/2015)

2.3.2 Coeficiente de transmissão térmica linear

A Portaria n.º 349-B/2013 apresenta a tabela I.02 (figura 2.5) que estabelece o coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, Ψ_{ref} [W/(m.°C)], para diversos tipos de ligações.

TABELA I.02

Coefficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} [W/(m.°C)]

Tipo de ligação	ψ_{ref} [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾ Fachada com varanda ⁽¹⁾	0,50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,20

(1) Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

Figura 2.5 – Tabela I.02 (Portaria n.º 349-B/2013)

Porém, para determinar o coeficiente de transmissão térmica linear, recorre-se ao Despacho n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro, que complementa as orientações no que refere a este requisito para o qual admite três formas de determinação:

- a) *De acordo com as normas europeias em vigor, nomeadamente a Norma EN ISO 10211;*
- b) *Com recurso a catálogos de pontes térmicas para várias geometrias e soluções construtivas típicas, desde que o cálculo tenha sido efetuado de acordo com a Norma Europeia EN ISO 14683 com recurso à metodologia definida na EN ISO 10211;*
- c) *Com recurso aos valores indicados na Tabela 07 [(figura 2.6)].*

Tabela 07 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares ψ [W/(m. $^{\circ}$ C)]

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾		0,60	0,15 ⁽²⁾	0,50 ⁽³⁾
Fachada com varanda ⁽¹⁾		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 ⁽⁴⁾	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30

⁽¹⁾ Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

⁽²⁾ ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ Majorar quando existe um teto falso em: ⁽²⁾ 25%; ⁽³⁾ 50%; ⁽⁴⁾ 70%.

Figura 2.6 – Tabela 07 (Despacho n.º 15793-K/2013)

2 - Não se contabilizam pontes térmicas lineares em:

a) Paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não úteis;

b) Paredes interiores separando um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, desde que $btr \leq 0,7$.

2.3.3 Fatores solares de vãos envidraçados

O REH estabelece, na secção 2.3, do anexo I, da Portaria n.º349-B/2013, o seguinte critério para os fatores solares dos vãos envidraçados:

Os envidraçados cujo somatório das áreas dos vãos envidraçados A_{env} seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento servido por estes A_{pav} e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativados (g_T), que obedeça às seguintes condições:

a) Se $A_{env} \leq 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \quad (1)$$

b) Se $A_{env} > 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \cdot \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)} \quad (2)$$

em que:

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

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, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício

$g_{Tm\acute{a}x}$ - Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados, obtido da Tabela I.06 [(figura 2.7)]

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

A_{pav} - Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s) [m²]

TABELA I.06

Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, $g_{Tm\acute{a}x}$

$g_{Tm\acute{a}x}$	Zona climática		
	V1	V2	V3
Classe de Inércia			
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Figura 2.7. – Tabela I.06 (Portaria n.º349-B/2013)

2.3.4 Critérios de ventilação

O capítulo 3, do anexo à Portaria n.º 349-B/2013, impõe que “nos edifícios de habitação, o valor de taxa de renovação horária de ar [...] deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora (R_{ph}). Declara, também, que este “valor [...] [deve ser] calculado de acordo com as disposições previstas para o efeito em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

O Despacho de que trata o parágrafo anterior é o n.º 15793-K/2013 o qual no número 1, da secção 12, indica que

Sempre que o edifício esteja em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1 no caso de edifícios com ventilação natural, ou da norma NP 1037-2 no caso de edifícios com ventilação mecânica centralizada, o valor de R_{ph} a adotar será o valor indicado no projeto de ventilação requerido por essa norma.

Neste sentido, recorre-se à NP1037-1 para repertoriar o disposto, em sua secção 6, a dizer que

as exigências de ventilação são quantificadas através de caudais-tipo [que] [...] no caso da ventilação natural, deve ser entendido como um elemento de dimensionamento e não como um caudal a assegurar fisicamente, uma vez que não há controlo sobre as ações que promovem a ventilação natural.

O caudal-tipo é determinado tendo em atenção o volume dos compartimentos a ventilar e as respetivas exigências mínimas de renovação de ar, definidas da seguinte forma:

- a) uma renovação por hora nos compartimentos principais;*
- b) quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço.*

No caso das instalações sanitárias com banheira ou duche, o caudal de ar de ventilação nunca poderá ser inferior a 45 m³/h e nas instalações sanitárias sem banheira nem duche, o caudal de ar de ventilação nunca poderá ser inferior a 30 m³/h. No caso das cozinhas, o caudal de ar de ventilação nunca poderá ser inferior a 60 m³/h.

No quadro 1 [(figura 2.8)] são apresentados a título indicativo os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos de serviço, considerados individualmente, em função do seu volume. No quadro 2 [(figura 2.8)] são indicados os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos principais que integram o mesmo sector de ventilação, em função do respetivo volume total. Quando a ventilação for conjunta para toda a habitação é considerado o volume total dos compartimentos principais.

Quadro 1 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço

COMPARTIMENTO		VOLUME				
		≤ 8 m ³	> 8 m ³ ≤ 11 m ³	> 11 m ³ ≤ 15 m ³	> 15 m ³ ≤ 22 m ³	> 22 m ³ ≤ 30 m ³
Cozinha e outros espaços para instalação de aparelhos a gás		(1)	17 l/s (60 m ³ /h)		25 l/s (90 m ³ /h)	33 l/s (120 m ³ /h)
Instalação sanitária	com banheira ou duche	13 l/s (45 m ³ /h)		17 l/s (60 m ³ /h)	25 l/s (90 m ³ /h)	(2)
	sem banheira nem duche	8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
Espaços para lavandaria		8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
(1) Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás dos tipos A. Esta montagem é permitida para os aparelhos do tipo B desde que o local seja destinado apenas para alojamento deste (ver, também, a NP 1037-3). (2) Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta as exigências acima referidas.						

Quadro 2 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais

Volume (m ³)	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo (l/s) (m ³ /h)	8 (30)	17 (60)	25 (90)	33 (120)	42 (150)	50 (180)	58 (210)	67 (240)

Figura 2.8 – Quadro 1 e Quadro 2 (NP 1037-1)

2.3.5 Relação entre necessidades nominais e limite de energia primária

No que refere aos edifícios de habitação existentes sujeitos a grande intervenção, o REH, na secção 1.2, do anexo I, da Portaria n.º349-B/2013, determina a verificação da

relação entre os valores de necessidades nominais e o seu limite, de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária [...] conforme coeficientes indicados na Tabela I.04 [(figura 2.9)] e em função do ano de construção do edifício.

TABELA I.04

Relação entre os valores das necessidades nominais e limite, de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária de edifícios sujeitos a grandes intervenções

Ano de construção	N_{ic}/N_i	N_{vc}/N_v	N_{tc}/N_t
Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1,50
Entre 1960 e 1990	1,25	1,25	1,50
Posterior a 1990	1,15	1,15	1,50

Figura 2.9 – Tabela I.04 (Portaria n.º349-B/2013)

2.4 Requisitos exigidos pelo DL 95/2019

Excetuando a primeira, as subsecções a seguir encontram paralelo na seção anterior, com o propósito de estabelecer a supra mencionada comparação entre os regulamentos. Esta subsecção inicial aclara o espectro para os diversos requisitos estabelecidos neste regime especial.

2.4.1 Custos-padrão

A Portaria n.º 303/2019, de 12 de setembro, que fixa custos-padrão, tem por objetivo permitir a quantificação do custo de intervenção das operações de reabilitação. Após a determinação deste custo e compará-lo com o valor do edifício, é possível estabelecer em que tipo intervenção a operação de reabilitação se enquadra, em função do tipo de edifício de habitação (unifamiliar ou coletiva), fazendo variar entre os tipos X, Y e Z, conforme quadro I (figura 2.10), da Portaria 297/2019, de 9 de setembro.

Para estabelecer o valor do edifício, o último diploma legal que estabeleceu “[...] o preço da construção da habitação por metro quadrado fixado anualmente, para as diferentes zonas do País, pela portaria a que se refere o artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 329 -A/2000, de 22 de dezembro [...]”, para efeito da alínea gg), do Art. 2º, do Decreto-Lei 118/2013, foi a Portaria n.º 156/2014, de 12 de agosto. No ano de 2014, os preços da habitação, por metro quadrado de área útil (Pc), eram os seguintes:

- Na zona I - €679,35;
- Na zona II - €602,92;
- Na zona III - €557,91.

QUADRO I

Tipo de operações de reabilitação em função do tipo de edifício e do custo da intervenção

Nível de intervenção	Intervenções cujo custo C é < 25 % do valor do edifício (*)	Custo (25 % do valor do edifício (*) ≤ C < 300 Euros/m ²)	Custo (C ≥ 300 Euros/m ²)
Habitação unifamiliar	X	Y	Y
Habitação coletiva			Z

(*) Cfr. artigo 2.º, alínea gg) do DL 118/2013.

Figura 2.10 – Quadro I (Portaria 297/2019, de 9 de setembro)

A importância de se estabelecer o tipo de intervenção deve-se ao modelo de aplicação e requisitos da Portaria 297/2019, de 9 de setembro, que atribui exigências maiores a medida que o custo da intervenção aumenta, ou seja, escala do tipo X, com menos exigências, para o tipo Z, mais rigoroso.

2.4.2 Coeficientes de transmissão térmica superficiais

O modelo DL 95/2019, na Portaria n.º 297/2019, reedita, no quadro II, os U_{max} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], conforme verifica-se na figura 2.11.

QUADRO II

Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis U_{max} (W/m²K)

Elemento exterior		11	12	13
Elementos opacos verticais — Paredes		1,70	1,50	1,40
Elementos opacos horizontais	Coberturas	0,80	0,70	0,60
	Pavimentos sobre o exterior	1,00	0,90	0,80
Vão envidraçados (portas e janelas) — U_{vidr}		4,50	4,00	4,00

Figura 2.11 – Quadro II (Portaria n.º 297/2019)

2.4.3 Coeficiente de transmissão térmica linear

No regime especial do DL 95/2019, utiliza-se de fatores multiplicativos de agravamento das perdas térmicas em superfície corrente do elemento construtivo para que sejam quantificadas as perdas térmicas lineares. O quadro IV, da Portaria n.º 297/2019, (figura 2.12) apresenta a relação dos intervalos dos $U_{\text{médio}}$ da envolvente vertical e os respetivos fatores de agravamento.

QUADRO IV

Valores dos fatores multiplicativo para determinação de perdas térmicas lineares

$U_{\text{médio}}$ da envolvente vertical	Fator
< 0,6	1,6
0,6 — 0,8	1,5
0,8 — 1	1,4
> 1	1,2

Figura 2.12 – Quadro IV (Portaria n.º 297/2019)

2.4.4 Fatores solares de vãos envidraçados

O Decreto-Lei n.º 95/2019, de julho de 2019, em seu Art. 10.º, altera a redação do Art. 30.º, do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, como forma de enfatizar a necessidade de cumprimento do disposto no Art.º 28 deste mesmo decreto-lei. Em seu número 3, o Art.º 28 determina que

[...] toda a intervenção, independentemente da sua dimensão, na envolvente de um edifício, substituição ou reabilitação de elementos construtivos que façam parte da mesma obedecem aos requisitos [...] relativos aos valores máximos: [...] b) Do fator solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais a intervir.

Este direcionamento tem especial importância no que se refere a determinação dos ganhos térmicos, nomeadamente para a estação de arrefecimento cujas consequências serão examinadas no próximo capítulo.

Para determinar o valor máximo admissível do fator solar para vãos envidraçados deve-se respeitar ao quadro III da Portaria 297/2019 (figura 2.13), exposto adiante.

QUADRO III
Valores máximos admissíveis de $g_{Tmáx}$

V1 ⁽³⁾										
A_{env}/A_{pav} ⁽¹⁾	<5 %			≥5 % – <15 %			≥15 % – <25 %			≥25 %
Inérc/Orient ⁽²⁾	E-S-O	N	E-S	O	N	E-S	O	N	E-S	O
Fraca	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,15	0,15	0,40	0,10	0,10
Média	0,40	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20
Forte	0,60	0,60	0,40	0,40	0,60	0,40	0,40	0,60	0,40	0,40
V2 ⁽³⁾										
A_{env}/A_{pav}	<5 %			≥5 % – <15 %			≥15 % – <25 %			≥25 %
Inérc/Orient	E-S-O	N	E-S	O	N	E-S	O	N	E-S	O
Fraca	0,40	0,40	0,20	0,15	0,40	0,15	0,15	0,40	0,10	0,10
Média	0,40	0,40	0,40	0,15	0,40	0,30	0,15	0,40	0,40	0,15
Forte	0,60	0,60	0,40	0,35	0,60	0,40	0,35	0,60	0,40	0,30
V3 ⁽³⁾										
A_{env}/A_{pav}	<5 %			≥5 % – <15 %			≥15 % – <25 %			≥25 %
Inérc/Orient	E-S-O	N	E-S	O	N	E-S	O	N	E-S	O
Fraca	0,40	0,40	0,20	0,10	0,40	0,10	0,10	0,40	0,10	0,10
Média	0,40	0,40	0,35	0,15	0,40	0,25	0,15	0,40	0,40	0,15
Forte	0,60	0,60	0,35	0,30	0,60	0,35	0,30	0,60	0,40	0,25

⁽¹⁾ Percentagem de área de vãos envidraçados face à área de pavimento do compartimento associado.

⁽²⁾ Inércia térmica/Orientação solar.

⁽³⁾ Zonas climáticas de verão.

Figura 2.13 – Quadro III (Portaria n.º 297/2019)

2.4.5 Critérios de ventilação

Ao tratar dos critérios de ventilação mínimos no inverno, o modelo DL 95/2019, na Portaria n.º 297/2019, refere que estes

são os definidos na norma NP 1037 -1 no que se refere a:

- i) Obrigatoriedade de admissão de ar nos quartos e sala, com caudais de ar de 30 e 60 m³/h, respetivamente,*
- ii) Extração de ar natural em instalações sanitárias segundo os critérios da norma NP 1037 -1 ou extração de ar mecânica permanente com caudais de 45 e 30 m³/h, em instalações sanitárias com e sem duche, respetivamente;*

Diz ainda que

o disposto na alínea anterior é aplicável sem prejuízo do cumprimento da taxa de renovação horária prevista no n.º 4 do artigo 28.º do Decreto -Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, na sua atual redação.

2.4.6 Relação entre necessidades nominais e limite de energia primária

O regime especial em referência objetiva que a relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia primária (N_{tc}/N_t), em função do tipo de operação de reabilitação determinado através da aplicação do quadro I, sejam os que seguem:

- a) Intervenções do tipo X não há exigência de cálculo de necessidades energéticas, apenas atender aos requisitos;
- b) Intervenções do tipo Y, no máximo 2,00, igual a Classe Energética, mínima, D; e
- c) Intervenções do tipo Z, no máximo 1,50, equivalente a Classe Energética, mínima, C.

2.5 Notas finais

Neste capítulo, procedeu-se uma seleção dos conceitos de comportamento térmico dos edifícios, necessários a compreensão do REH no que se refere as exigências para as quais o DL 95/2019 propõe uma metodologia alternativa.

Após a descrição dos requisitos do DL 95/2019 - coeficientes de transmissão térmica superficiais, coeficientes de transmissão térmica lineares, fatores solares de vãos envidraçados, critérios de ventilação e relação entre necessidades nominais e limite de energia primária - e seus paralelos no REH, verificar-se-á, no próximo capítulo, uma análise comparativa das metodologias em questão.

3 ANÁLISE COMPARATIVA – REH E DL 95/2019

3.1 Premissa da comparação

Para elaborar a presente análise comparativa, elegeu-se a zona climática I2 V2 à guisa de limitar a extensão dos ensaios. Tal delimitação, no entanto, originária do propósito de um exame expedito que representasse a média dos cenários climáticos do País, acredita-se, revelará questões satisfatórias para o atingimento do objetivo deste trabalho.

Reforça-se que o contexto da análise estará sempre a considerar uma preexistência e as questões inerentes a reabilitação deste edificado. Soma-se a isto, a utilização de várias soluções construtivas correntes e alguns casos de estudo simples para a análise comparativa entre o REH e o DL95/2019.

3.2 Coeficientes de transmissão térmica superficiais

Relativamente a comparação dos coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis ($U_{máx}$) dos elementos construtivos da envolvente, separou-se, para esta análise, em dois grupos, nomeadamente, elementos da envolvente opaca e vãos envidraçados.

3.2.1 Elementos da envolvente opaca

Para comparar os $U_{máx}$, no que refere a envolvente opaca, utilizaram-se algumas soluções construtivas retiradas do ITE 50 (LNEC, 2006) e, em seguida, escolheram-se soluções de isolamento para cumprir a cada uma das metodologias, conforme quadro 3.1, a seguir. Foram associados custo por metro quadrado às soluções de isolamento propostas, levantados através da ferramenta informática www.geradordeprecos.info.

Das soluções construtivas de elemento opaco vertical apenas a parede simples de pedra com espessura de 50 cm possui U_{con} superior ao máximo das duas metodologias.

Para atender ao $U_{máx}$ prescrito pelo modelo DL 95/2019, seria suficiente a aplicação de argamassa térmica, com espessura de 20 mm e custo aproximado de 40 €/m². Contudo, se for instalado isolamento de XPS, pelo interior, com espessura de 80 mm e custo aproximado de 20 €/m², atenderá inclusive ao REH.

A segunda solução implica uma redução do espaço e da inércia do compartimento a que serve, não obstante apresentar o custo unitário, para aplicação da solução, mais baixo.

Ao analisar-se as soluções construtivas de elementos opacos horizontais, nomeadamente as coberturas, conclui-se perante os exemplos selecionados que dado o custo benefício mais vale atender ao $U_{máx}$ do REH do que a pequena redução de custo promovida pela adoção do modelo DL 95/2019.

Coeficientes de transmissão térmica superficiais - Envolvente opaca										
Elemento exterior	Solução construtiva	U_{con} [W/(m ² .°C)]	Solução de isolamento				U_{sol} [W/(m ² .°C)]	Custo [€/m ²]	REH	DL 95/2019
			Produto (massa vol.) [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	Espessura do isolante [mm]	Posição do isolante				
Parede	Parede simples de tilolo furado com espessura 20 cm	1,30	sem isolante				1,30	0	✗	✓
			Arg. Ter (455)	0,068	20	exterior	1,00	40	✗	✓
			XPS (25-40)	0,037	80	interior	0,38	20	✓	✓
	Parede simples de pedra com espessura 50 cm	2,90	sem isolante				2,90	0	✗	✗
			Arg. Ter (455)	0,068	20	exterior	1,29	40	✗	✓
			XPS (25-40)	0,037	80	interior	0,38	20	✓	✓
	Parede dupla tijolo furados com espessura dos panos de 11 + 11 cm	1,10	sem isolante				1,10	0	✗	✓
			Arg. Ter (455)	0,068	20	exterior	0,83	40	✗	✓
			XPS (25-40)	0,037	80	interior	0,30	20	✓	✓
Cobertura	Cobertura inclinada estrutura e esteira em madeira (fluxo asc.)	3,80	sem isolante				3,80	0	✗	✗
			XPS (25-40)	0,037	60	interior, contínuo	0,54	20	✗	✓
			XPS (25-40)	0,037	100	interior, contínuo	0,35	25	✓	✓
	Cobertura inclinada laje aligeirada, blocos cerâmicos, espessura 15 cm (fluxo asc.)	2,80	sem isolante				2,80	0	✗	✗
			XPS (25-40)	0,037	40	interior, contínuo	0,70	15	✗	✓
			XPS (25-40)	0,037	100	interior, contínuo	0,33	25	✓	✓

✓ Atende ✗ Não atende

Quadro 3.1 – Comparação dos $U_{máx}$ com U_{sol}

3.2.2 Vãos envidraçados

O método de comparação dos coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis estabelecido para os vãos envidraçados nos dois modelos será a seleção de soluções janelas que atendam ao DL 95/2019 e verificar as alternativas que se impõem para atingir o $U_{máx}$ do REH.

No quadro 3.2, reúnem-se alguns tipos de janela e suas características bem como os coeficientes de transmissão térmica superficiais correspondentes.

Nota-se que muitas das janelas correntes, com vidro simples, atendem aos máximos previstos no DL 95/2019, são elas:

- Janelas simples (fixas, giratórias ou de correr), em caixilharia de madeira e dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar elevada (portada em veneziana, por exemplo), têm U_{wdn} igual a 3,90 W/(m².°C), menos que $U_{máx}$ de 4,00 W/(m².°C);

- b) Janelas simples fixas ou giratórias - em caixilharia metálica sem corte térmico e dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar baixa (estore fixo pelo exterior, por exemplo) – têm, respetivamente, U_{wdn} iguais a 3,80 e 3,90 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;
- c) Janelas simples (fixas, giratórias ou de correr), em caixilharia metálica com corte térmico e dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar baixa, têm U_{wdn} igual a 3,60 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; e
- d) Janelas simples (fixas, giratórias ou de correr), em caixilharia de plástico e dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar elevada, têm U_{wdn} igual a 3,80 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Nos quatro grupos, se for possível a substituição do número de vidros, de simples para duplo, atender-se-ia ao $U_{máx}$ regulamentado pelo REH. Contudo, para cada grupo os vidros duplos teriam especificidades, quais sejam:

Coeficientes de transmissão térmica superficiais - Vãos envidraçados											
Caixilharia	Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Espessura da lamina de ar [mm]	U_w [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	U_{wdn} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]			REH	DL 95/2019	
						Cortina interior opaca	Dispositivo de oclusão noturna				
							Outros dispositivos	Com permeabilidade ao ar elevada			Com permeabilidade ao ar baixa
Madeira	Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	-	5,10	4,30	3,90	3,40	✗	✓	
		2 (vidro duplo)		16	2,80	2,50	2,40	2,20	✓	✓	
		2 (vidro duplo)		16 low ε	2,60	2,40	2,30	2,00	✓	✓	
	Duplo (2 janelas)	1 (vidro simples)		50 a 100 (distância entre janelas)	2,50	2,30	2,20	2,00	✓	✓	
Metálica (sem corte térmico)	Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa	-	6,00	4,90	4,50	3,80	✗	✓	
			giratória	-	6,20	5,00	4,60	3,90	✗	✓	
			de correr	-	6,50	5,20	4,80	4,10	✗	✗	
	Duplo (2 janelas)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	fixa	16 low ε	3,10	2,80	2,60	2,30	✓	✓
				6	4,50	3,90	3,60	3,10	✗	✓	
				16	4,00	3,50	3,30	2,90	✗	✓	
				50 a 100 (distância entre janelas)	3,10	2,80	2,60	2,30	✓	✓	
Metálica (com corte térmico)	Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	-	5,40	4,50	4,10	3,60	✗	✓	
		2 (vidro duplo)	16 low ε	3,00	2,70	2,60	2,30	✓	✓		
Plástico	Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	-	4,90	4,10	3,80	3,30	✗	✓	
				6	3,20	2,90	2,70	2,40	✓	✓	
		2 (vidro duplo)		16	2,70	2,50	2,30	2,10	✓	✓	
				16 low ε	2,50	2,30	2,20	2,00	✓	✓	
	Duplo (2 janelas)	1 (vidro simples)		50 a 100 (distância entre janelas)	2,40	2,20	2,10	1,90	✓	✓	

Legenda: ✓ Atende ✗ Não atende Solução mínima a atender

Quadro 3.2 – Comparação dos $U_{máx}$ dos vãos envidraçados – I2

- para a) ter espessura da lâmina de ar, entre os vidros, de 16 mm;
- em b) e c), além dos 16 mm entre os vidros, estes devem ser baixo emissivo (low ε); e

- para d) o espaço entre os vidros deve ser de 6 mm.

3.3 Coeficiente de transmissão térmica linear

A forma de comparação escolhida, para este requisito, foi a confrontação de resultados numéricos de duas situações construtivas hipotéticas simplificadas (figura 3.1) para as quais calcula-se a transferência de calor através da envolvente (Q_{REH}), conforme modelo REH.

Em seguida, coloca-se este resultado em paralelo com o outro que será obtido através da utilização de um fator multiplicativo para determinar o agravamento da perda térmica na superfície corrente em ensaio, ou seja, a transferência de calor através da envolvente (Q_{DL95}), conforme modelo DL 95/2019.

Agregam-se, ainda, variações na posição do isolante térmico (interior ou exterior) e comprimento do vão envidraçado que tem altura de 1,50 m (1,20 m ou 2,40 m).

Põem-se como outros elementos para cálculo das hipóteses, os que seguem:

- Duas unidades habitacionais tipo T0, denominadas A e B, com pé direito 3,20 m, sem teto falso, e comprimento da parede exterior frontal igual a 3,60 m;
- Parede divisória ente unidades em alvenaria de 12 cm de espessura;
- Laje entre pavimentos com 15 cm de espessura;
- Não há pontes térmicas planas (PTP);
- Na unidade A, existe apenas uma parede em contato com o exterior na qual está instalado o único vão envidraçado, já na unidade B uma das paredes laterais também compõe a envolvente externa;
- Não há pilar no cunhal formado pelas paredes frontal e lateral da unidade B;

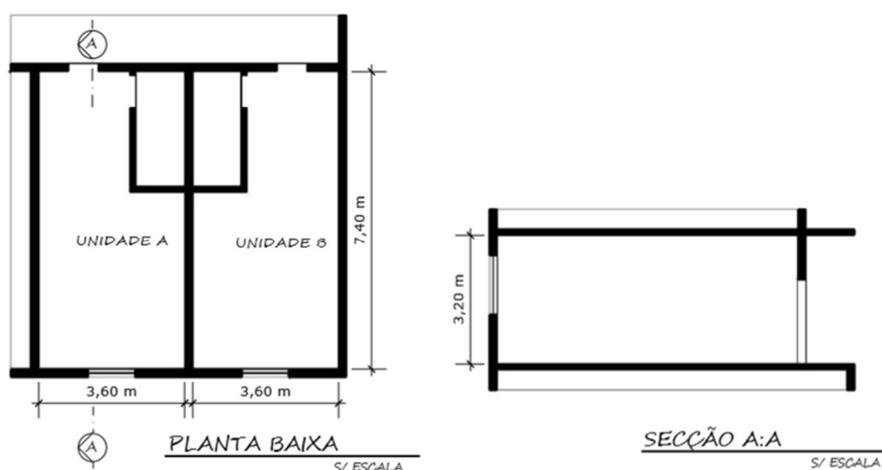


Figura 3.1 – Hipóteses construtivas (original do autor)

- Parede exterior em alvenaria simples de tijolos, espessura de 20 cm, com isolante térmico em EPS de espessura 40 mm. Adota-se, para esta solução, o valor convencional de cálculo do coeficiente de transmissão térmica superficial de $U_{par} = 0,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; (LNEC ITE50, 2006)
- As perdas através dos vãos envidraçados não serão consideradas;
- Pontes térmicas lineares (PTL) e seus respectivos coeficiente de transmissão térmica linear (ψ), em $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$, conforme tabela 7, do Despacho n.º 15793-K/2013:
 - ❖ Ligação fachada e caixilharia onde o isolante térmico da parede pelo interior não contacta com a caixilharia – 0,25;
 - ❖ Ligação fachada e caixilharia onde o isolante térmico da parede pelo exterior não contacta com a caixilharia – 0,25;
 - ❖ Fachada com pavimento de nível intermédio e sistema de isolamento da parede pelo interior – 0,60 (o valores diz respeito a metade da perda originada na ligação);
 - ❖ Fachada com pavimento de nível intermédio e sistema de isolamento da parede pelo exterior – 0,15 (o valores diz respeito a metade da perda originada na ligação);
 - ❖ Duas paredes verticais em ângulo saliente e sistema de isolamento da parede pelo interior – 0,10;
 - ❖ Duas paredes verticais em ângulo saliente e sistema de isolamento da parede pelo exterior – 0,40;
 - ❖ Ligação entre parede exterior e parede divisória em alvenaria de tijolo, com isolamento da envolvente pelo interior – não existe valor por defeito para este tipo de ligação na tabela; e
 - ❖ Ligação entre parede exterior e parede divisória em alvenaria de tijolo, com isolamento da envolvente pelo exterior – não existe valor por defeito para este tipo de ligação na tabela.
- Pontes térmicas lineares (PTL) e seus respectivos coeficiente de transmissão térmica linear (ψ), em $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$, conforme Catálogo de PTL, ITeCons:
 - ❖ Ligação fachada e caixilharia onde o isolante térmico da parede pelo interior não contacta com a caixilharia – 0,10;
 - ❖ Ligação fachada e caixilharia onde o isolante térmico da parede pelo exterior não contacta com a caixilharia – 0,26;
 - ❖ Fachada com pavimento de nível intermédio e sistema de isolamento da parede pelo interior – 0,72 (O valor de ψ apresentado diz respeito à perda total de calor que ocorre pela ligação $\psi = \psi_{sup} + \psi_{inf}$);

- ❖ Fachada com pavimento de nível intermédio e sistema de isolamento da parede pelo exterior – 0,18 (O valor de ψ apresentado diz respeito à perda total de calor que ocorre pela ligação $\psi = \psi_{\text{sup}} + \psi_{\text{inf}}$);
 - ❖ Duas paredes verticais em ângulo saliente e sistema de isolamento da parede pelo interior – 0,05;
 - ❖ Duas paredes verticais em ângulo saliente e sistema de isolamento da parede pelo exterior – 0,14;
 - ❖ Ligação entre parede exterior e parede divisória em alvenaria de tijolo, com isolamento da envolvente pelo interior – 0,19; e
 - ❖ Ligação entre parede exterior e parede divisória em alvenaria de tijolo, com isolamento da envolvente pelo exterior – 0,06.
- A diferença de temperatura (ΔT) é igual a 1°C.

A transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior (Q_{REH}) calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{REH} = [U_{par} \cdot A_{par} \cdot \Delta T] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad (3)$$

em que:

U_{par} – Coeficiente de transmissão térmica da parede da envolvente, [W/(m².°C)];

A_{par} – Área da parede da envolvente, medida pelo interior do edifício, [m²];

ΔT – Diferença de temperatura [°C]

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j , [W/(m.°C)]

B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, [m]

No modelo DL 95/2019, a transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior (Q_{DL95}) calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{DL95} = U_{\text{médio}} \cdot F_{agr} \cdot A_{par} \cdot \Delta T \quad (4)$$

Para a qual acrescentam-se:

$U_{médio}$ – Coeficiente de transmissão térmica da parede da envolvente, $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;

F_{agr} – Fator multiplicativo de agravamento para determinação de perdas térmicas lineares

Toma-se como o valor de $U_{médio}$ da envolvente vertical opaca 0,58 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, sendo este o mesmo da parede exterior. Ao entrar no quadro IV, da Portaria 297/2019, com este valor de U , identifica-se que o valor do fator multiplicativo correspondente é 1,6.

Ao aplicar os valores dos elementos de cálculo às respetivas expressões, obtêm-se os resultados que se apresentam nos quadros 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, a seguir.

QUADRO RESUMO - UNIDADE A

Grandeza	Descrição	Unidade de medida	Valores		Sistema de isolamento das paredes - Valores por defeito			
			Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Isolamento interior		Isolamento exterior	
U_{par}	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	0,58		Isolamento interior		Isolamento exterior	
A_{par}	Área da parede exterior	m^2	9,72	7,92	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm
ΔT	Diferença de temperatura	$^\circ C$	1					
F_{agr}	Fator de agravamento para as PTL		1,6		$W/(m \cdot ^\circ C)$			
ψ_j	PTL - fachada com caixilharia e isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	m	5,4	7,8	0,25			
	PTL - fachada com pavimento de nível intermédio	m	7,2		1,20		0,30	
	PTL - ligação entre parede exterior simples em alvenaria de tijolo e parede divisória em alvenaria de tijolo.	m	6,4		0,00		0,00	
Q_{REH}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo REH	W			15,63	15,18	9,15	8,70
Q_{DL95}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo DL 95/2019	W			9,02	7,35	9,02	7,35
Q_{DL95}/Q_{REH}	Relação entre as transferências de calor dos dois modelos de cálculo				58%	48%	99%	84%

Quadro 3.3 – Transferência de calor na unidade A (valores por defeito)

A comparação de resultados, entre Q_{REH} e Q_{DL95} , na hipótese da unidade A, a utilizar valores por defeito, indica uma maior divergência no cenário de isolamento pelo interior.

O aumento da área do vão envidraçado provoca o aumento da PTL no seu perímetro bem como a redução da área da envolvente opaca, ocasionando um alargamento da diferença dos resultados neste caso.

QUADRO RESUMO - UNIDADE A

Grandeza	Descrição	Unidade de medida	Valores		Sistema de isolamento das paredes - Valores por catálogo			
			Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Isolamento interior		Isolamento exterior	
U_{par}	Coefficiente de transmissão térmica da parede exterior	W/(m ² .°C)	0,58					
A_{par}	Área da parede exterior	m ²	9,72	7,92	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm
ΔT	Diferença de temperatura	°C	1					
F_{agr}	Fator de agravamento para as PTL		1,6		W/(m.°C)			
ψ_j	PTL - fachada com caixilharia e isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	m	5,4	7,8	0,10		0,26	
	PTL - fachada com pavimento de nível intermédio	m	7,2		0,72		0,18	
	PTL - ligação entre parede exterior simples em alvenaria de tijolo e parede divisória em alvenaria de tijolo.	m	6,4		0,38		0,12	
Q_{REH}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo REH	W			13,79	12,99	9,11	8,69
Q_{DL95}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo DL 95/2019	W			9,02	7,35	9,02	7,35
Q_{DL95}/Q_{REH}	Relação entre as transferências de calor dos dois modelos de cálculo				65%	57%	99%	85%

Quadro 3.4 – Transferência de calor na unidade A (valores de catálogo)

Ainda a comparar hipótese da unidade A, porém a utilizar os coeficientes de transmissão térmicas lineares (ψ) provenientes do catálogo do ITeCons, obtém-se resultados menos gravosos os quais, quando emparelhados aos do DL 95/2019 que permanecem os mesmos, verifica-se uma redução do afastamento.

QUADRO RESUMO - UNIDADE B

Grandeza	Descrição	Unidade de medida	Valores		Sistema de isolamento das paredes - Valores por defeito			
			Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Isolamento interior		Isolamento exterior	
U_{par}	Coefficiente de transmissão térmica da parede exterior	W/(m ² .°C)	0,58					
A_{par}	Área da parede exterior	m ²	33,4	31,6	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm
ΔT	Diferença de temperatura	°C	1					
F_{agr}	Fator de agravamento para as PTL		1,6		W/(m.°C)			
ψ_j	PTL - fachada com caixilharia e isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	m	5,4	7,8	0,25			
	PTL - fachada com pavimento de nível intermédio	m	22,0		1,20		0,30	
	PTL - duas paredes verticais em ângulo saliente	m	3,6		0,10		0,40	
	PTL - ligação entre parede exterior simples em alvenaria de tijolo e parede divisória em alvenaria de tijolo.	m	6,4		0,00		0,00	
Q_{REH}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo REH	W			47,48	47,04	32,81	34,17
Q_{DL95}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo DL 95/2019	W			31,00	29,32	31,00	29,32
Q_{DL95}/Q_{REH}	Relação entre as transferências de calor dos dois modelos de cálculo				65%	62%	94%	86%

Quadro 3.5 – Transferência de calor na unidade B (valores por defeito)

Ao alternar para a hipótese unidade B, nota-se que o aumento da área da envolvente opaca e o surgimento de outras PTL mantiveram os resultados da relação (Q_{DL95}/Q_{REH}) muito semelhantes aos obtidos na hipótese anterior.

Todavia, a hipótese da unidade B quando calculada por valores de catálogo, em situação de isolamento pelo exterior, apresenta perdas menos graves do que as apuradas pelo cálculo definido no modelo DL 95/2019.

QUADRO RESUMO - UNIDADE B

Grandeza	Descrição	Unidade de medida	Valores		Sistema de isolamento das paredes - Valores por catálogo			
			Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm				
U_{par}	Coefficiente de transmissão térmica da parede exterior	W/(m ² .°C)	0,58		Isolamento interior		Isolamento exterior	
A_{par}	Área da parede exterior	m ²	33,4	31,6	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm	Janela 120x150 cm	Janela 240x150 cm
ΔT	Diferença de temperatura	°C	1					
F_{agr}	Fator de agravamento para as PTL		1,6		W/(m.°C)			
ψ_j	PTL - fachada com caixilharia e isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	m	5,4	7,8	0,10		0,26	
	PTL - fachada com pavimento de nível intermédio	m	22,0		0,72		0,18	
	PTL - duas paredes verticais em ângulo saliente	m	3,6		0,05		0,14	
	PTL - ligação entre parede exterior simples em alvenaria de tijolo e parede divisória em alvenaria de tijolo.	m	6,4		0,19		0,06	
Q_{REH}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo REH	W			37,15	36,34	25,62	25,20
Q_{DL95}	Transferência de calor através da envolvente, conforme modelo DL 95/2019	W			31,00	29,32	31,00	29,32
Q_{DL95}/Q_{REH}	Relação entre as transferências de calor dos dois modelos de cálculo				83%	81%	121%	116%

Quadro 3.6 – Transferência de calor na unidade B (valores de catálogo)

Em análise genérica dos resultados obtidos para Q_{REH} e Q_{DL95} , observa-se que o modelo REH é sensível a variação de posicionamento do isolante térmico (interior ou exterior) o que implica alteração nos coeficientes de transmissão térmica lineares, e esta flutuação não ocorre, no modelo DL 95/2019, graças ao uso do fator de agravamento para compensar as perdas térmicas lineares.

Verifica-se, também, que a posição do isolamento térmico pelo exterior acarreta uma aproximação dos resultados obtidos pelos dois modelos enquanto o isolamento interno sugere resultados mais gravosos no modelo REH do que no DL 95/2019.

Contudo, a relação entre as transferências de calor dos dois modelos de cálculo (Q_{DL95}/Q_{REH}) apresenta resultados, tendencialmente, menores que 100% a demonstrar um viés do REH para

a segurança em relação as perdas através das pontes térmicas lineares. O que não significa que o DL 95/2019 seja uma má opção para edifícios mais antigos nos quais a ocorrência de PTL é menos corrente em função dos sistemas construtivos da altura.

3.4 Fatores solares de vãos envidraçados

O modelo DL 95/2019 trata os fatores solares dos vãos envidraçados verticais da envolvente externa a interencionar no seu quadro III (figura 2.13) onde indica os valores máximos a se respeitar segundo sua orientação azimutal. Diferentemente do modelo REH, naquele não há a exclusão de A_{env} menores que 5% da A_{pav} nem dos vãos envidraçados voltados a Norte, exceto quando as duas situações acontecem em simultâneo.

Percebe-se, no entanto, que quando apresenta-se A_{env} menor que 5% da A_{pav} cuja orientação seja Norte, o quadro III não indica valor máximo admissível de $g_{Tmáx}$.

Para melhor análise, justapõem-se os valores máximos prescritos pelos dois modelos para relação A_{env}/A_{pav} de 10%, 20% e 30%, todas em uma zona climática V2.

Para concretizar o cálculo dos fatores solares máximos, segundo o modelo REH, com efeito de compará-los com os valores do quadro III, da Portaria 297/2019, aplicam-se as expressões (1) ou (2), de acordo com o disposto na subsecção 2.3.3, acima.

Nas hipóteses, considera-se “para contabilizar o efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão [...], o produto $F_o \cdot F_f$ [...] [igual] a 0,9”, em atenção ao número 3, da secção 8.2, do Despacho n.º 15793-K/2013.

No quadro 3.7, estão apresentados os valores obtidos através dos dois modelos de determinação do $g_{Tmáx}$.

QUADRO COMPARATIVO $g_{Tmáx}$

Classe de inércia	Orientação solar	10%		20%		30%	
		REH	DL 95/2019	REH	DL 95/2019	REH	DL 95/2019
Fraca	N		0,40		0,40		0,40
	E-S	0,09	0,20	0,07	0,15	0,05	0,10
	O		0,15		0,15		0,10
Média	N		0,40		0,40		0,40
	E-S	0,50	0,40	0,38	0,30	0,25	0,40
	O		0,15		0,15		0,15
Forte	N		0,60		0,60		0,60
	E-S	0,50	0,40	0,38	0,40	0,25	0,40
	O		0,35		0,35		0,30

Quadro 3.7 – Comparativo de máximos admissíveis $g_{Tmáx}$

Observa-se quando a classe de inércia é fraca, o modelo REH limita os valores de $g_{Tmáx}$ bem abaixo das exigências do DL 95/2019. Este facto pode ser interpretado como uma medida de incentivo, do regime especial, a fomentar a aplicação de isolamento térmico mesmo que pelo interior da envolvente uma vez que aqueles materiais aplicados nesta posição acabam por tornar a classe de inércia mais fraca.

Contudo, para as classes de inércia média e forte, os valores obtidos através do REH estão dentro do intervalo discriminado na tabela do DL 95/2019, salvo duas exceções:

- no caso de inércia média em compartimento onde o envidraçado corresponda a 10% de sua área, o REH é menos exigente que o DL 95/2019; e
- na hipótese de inércia forte em compartimento onde o envidraçado corresponda a 30% de sua área, o REH é mais exigente que o DL 95/2019.

Na segunda hipótese atribui-se a posição marginal do resultado do cálculo do REH, em relação ao intervalo estabelecido pelo DL 95/2019, ao rigor da metodologia de cálculo de $g_{Tmáx}$ no primeiro modelo.

3.5 Critérios de ventilação

Quanto aos critérios de ventilação, é grande a similitude entre os regulamentos. O que se verifica é uma variação de abordagem entre os dois modelos, entretanto, com resultados práticos equivalentes.

A diferença reside no facto do regime especial estabelecer, para os caudais de renovações de ar, valores fixos, a depender de cada tipo de ambiente da habitação, nomeadamente, quartos, sala e instalações sanitárias com e sem duche, enquanto no REH assume-se o estabelecido nos quadros 1 e 2, da secção 6.2, da NP 1037-1, que relacionam caudal a extrair ao compartimento segundo o seu volume.

Outrossim, nesta norma os caudais descritos no modelo DL 95/2019 aparecem relacionados a volumes dos respetivos tipos de ambientes mais correntes nas habitações, por exemplo, um quarto com 12 m² e pé direito 2,50 m, tem um volume de 30 m³ que na NP 1037-1 é obrigado a ter uma renovação de 30 m³/h, o mesmo caudal fixado pela Portaria n.º 297/2019.

3.6 Relação entre necessidades nominais e limite de energia primária

Para a relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia primária (N_{ic}/N_t) o REH estabelece na tabela I.04, da Portaria 347-B/2013, o rácio de 1,50 para edifícios de habitação existentes e sujeitos a grandes intervenções, construídos antes de 1990, período que coincide com a abrangência dos edifícios passíveis da aplicação do regime especial.

No entanto, no regime especial há um afrouxamento dos valores máximos de N_{tc}/N_t que são estabelecidos em função do custo da intervenção de acordo com quadro I, da Portaria n.º 297/2019, como segue.

- custo inferior a 25% do valor do edifício.....Não aplicável;
- custo entre 25% do valor do edifício e 300 €/m².....2,0; e
- custo de intervenção de 300 €/m².....1,5.

3.7 Notas Finais

Ao encerrar a comparação dos requisitos estabelecidos pelos modelos REH e DL 95/2019, depreende-se que, em parte, os ganhos implícitos no regime especial do Decreto-Lei 95/2019 estão associados aos três princípios que o norteiam.

Por exemplo, os $U_{máx}$ mais tolerantes definidos pelo DL 95/2019 permitem intervenções nas quais a preservação dos valores do edifício existente possa ser priorizada sem no entanto abrir mão de aplicar medidas de melhoria do comportamento térmico. Isto sem mencionar que este comportamento protetor reflete na redução da produção de resíduos da construção, o que corrobora com princípio da sustentabilidade ambiental.

No próximo capítulo, através de casos de estudo pretende-se obter resultados numéricos que possam indicar outros ganhos de comportamento térmico e energético.

4 CASO DE ESTUDO

4.1 Contextualização

Em remição a análise comparativa, intuito do capítulo anterior, tenciona-se integrar mais dados numéricos através da aplicação a caso de estudo de situações que possibilitem exemplificar uma possível tomada de decisão face a opção de utilização do modelo DL 95/2019 como metodologia de cálculo e requisitos máximos.

A folha de cálculo do REH que serviu de base para gerar casos de estudos derivou de um projeto de reabilitação de uma habitação unifamiliar, tipo T3, situada em uma zona climática de inverno I1 e de verão V2. Este imóvel de base (figura 4.1) é geminado a Oeste, tem o alçado principal a Este, o alçado mais envidraçado está a Norte e tem um apêndice, cozinha ao rés-do-chão, a Sul.

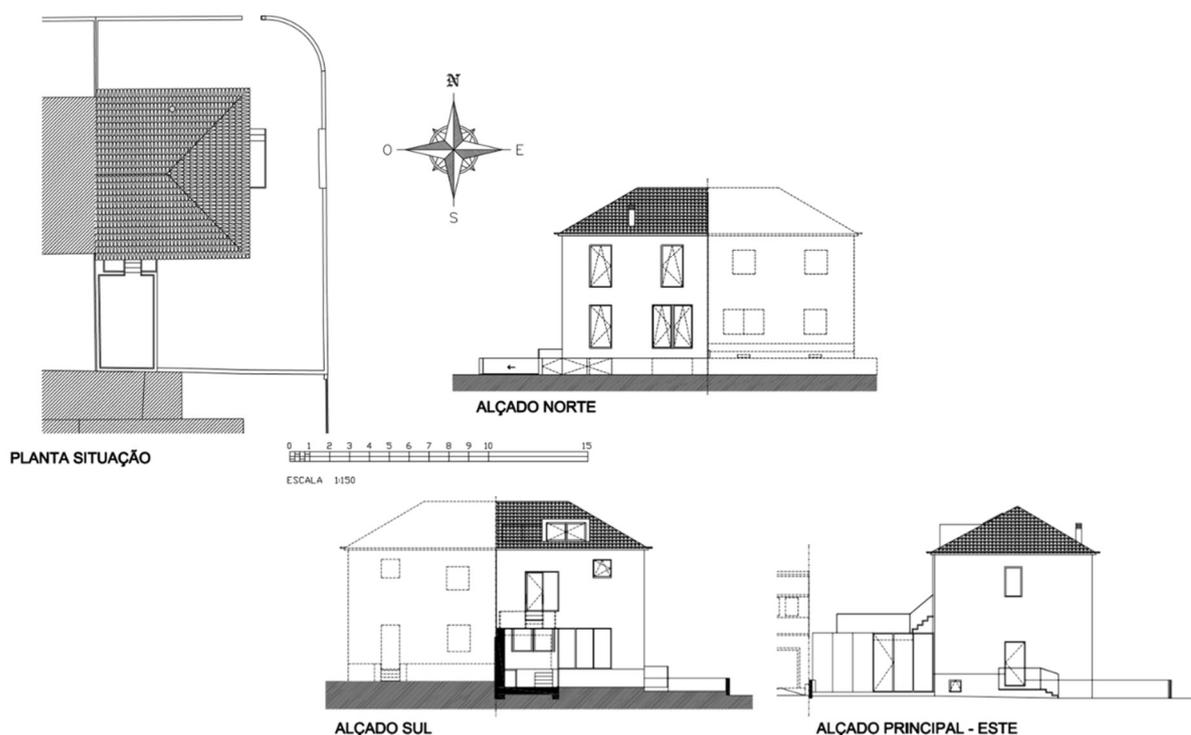


Figura 4.1 - Planta de situação e alçados (Caso de estudo)

4.2 Coeficientes de transmissão térmica superficiais

Com o caso de estudo, foram feitas análises relativas aos coeficientes de transmissão térmica superficial (U) específicas para os elementos construtivos opacos da envolvente exterior do edifício.

Pelo facto de não existir, no projeto base, elementos opacos horizontais, nomeadamente, pavimentos sobre o exterior, as análises deste trabalho não debruçaram sobre este parâmetro.

4.2.1 Elementos opacos verticais - Paredes

Ao aplicar a folha de cálculo do REH, no imóvel de base, suprimindo o isolamento térmico especificado para as paredes, verifica-se que muitas delas, mesmo sem reforço de isolamento, atendem ao $U_{máx}$ igual a $1,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para a zona climática II, determinado pelo modelo DL 95/2019.

As descrições dos materiais constituintes das paredes e pontes térmicas, sem isolamento, estão no quadro 4.1. Verifica-se, no caso de estudo, que as paredes externas em alvenaria de pedra são os elementos da envolvente opaca que não atenderam aos $U_{máx}$ do modelo DL 95/2019, além de uma ponte térmica plana e uma parede simples de betão armado.

Importa destacar a espessura total das duas paredes de pedra: PDE1, 50 cm e PDE2, 44 cm. Se espessura destas parede fosse 65 cm, o coeficiente de transmissão térmica superficial seria igual a $1,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, o suficiente para enquadrarem-se abaixo do limite recomendado no modelo DL 95/2019.

Outrossim, se for necessário aplicar isolamento térmico, como no exemplo da alvenaria de pedra com espessura total de 50 cm, ainda que condicionado a um revestimento delgado, por questões arquitetónicas, seria possível substituir o reboco exterior corrente por uma argamassa térmica com 25 mm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de $0,10 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ para que a solução tenha o coeficiente de transmissão térmica superficial de $1,42 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e estar a atender aos requisitos do DL 95/2019.

Observa-se que as soluções de alvenaria dupla adotadas no caso de estudo são capazes de atender ao requisito estabelecido para o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo para elementos opacos verticais, estabelecido no regime especial.

Paredes exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas				
ID do Tipo de Solução	Descrição	Camadas a partir do exterior	$U_{\text{Solução}}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Espessura Total (m)
PDE1	Alvenaria de pedra sem isolamento térmico	reboco tradicional, com 2,5 cm de espessura ($R=0,019 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); parede em pedra com 45 cm de espessura ($R=0,265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco tradicional, com 2,5 cm de espessura ($R=0,019 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$);	2,11	0,50
PDE2	Alvenaria de pedra sem isolamento térmico	reboco tradicional, com 2,5 cm de espessura ($R=0,019 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); parede em pedra com 39 cm de espessura ($R=0,229 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco tradicional, com 2,5 cm de espessura ($R=0,019 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	2,28	0,44
PDE3	Parede exterior dupla	parede em betão armado com 12 cm de espessura ($R=0,06 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 6 cm ($R=0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria em tijolo cerâmico furado de 11 cm ($R=0,27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); revestimento cerâmico com 1 cm de espessura ($R=0,011 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	1,42	0,32
PTPDE1	Ponte térmica plana em pilares	parede em betão armado com 12 cm de espessura ($R=0,06 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 6 cm ($R=0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); pilar em betão armado com 12 cm de espessura ($R=0,06 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco com 1 cm de espessura ($R=0,008 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); revestimento cerâmico com 1 cm de espessura ($R=0,011 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	2,05	0,26
PDE4	Alvenaria dupla sem isolamento térmico	reboco com 2,5 cm de espessura ($R=0,019 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria de tijolo cerâmico furado com 15 cm ($R=0,39 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 6 cm ($R=0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); betão armado com 20 cm de espessura ($R=0,10 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco com 2,5 cm de espessura ($R=0,019 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	1,14	0,46
PDE5	Alvenaria dupla sem isolamento térmico	reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria em tijolo 7 ($R=0,19 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 9 cm ($R=0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria em tijolo de 20 cm de espessura ($R=0,52 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); estruque projetado com 2 cm de espessura ($R=0,047 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	0,89	0,40
PTPDE2	Ponte térmica plana em elementos de betão armado (pilares e talão de vigas)	reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria em tijolo 7 ($R=0,19 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 9 cm ($R=0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); pilar em betão armado com 20 cm de espes. ($R=0,10 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); estruque projetado com 2 cm de espessura ($R=0,047 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	1,42	0,40
PDE6	Alvenaria dupla sem isolamento térmico	reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria em tijolo 15 ($R=0,39 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 6 cm ($R=0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); alvenaria em tijolo de 20 cm de espessura ($R=0,52 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	0,77	0,50
PDE7	Alvenaria simples sem isolamento térmico	revestimento exterior em chapa de zinco; reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); tijolo de 20 cm de espessura ($R=0,52 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	1,39	0,24
PDE8	Alvenaria simples sem isolamento térmico	revestimento exterior em chapa de zinco; reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); parede em betão armado com 20 cm de espessura ($R=0,10 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$); reboco com 2 cm de espessura ($R=0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$).	3,28	0,25

U desfasado do $U_{\text{máx}}$ DL95

Quadro 4.1 – Comparativo $U_{\text{solução}}$ e $U_{\text{máx}}$ DL 95/2019 - Paredes

Segundo uma breve sinopse da mudança das soluções para a paredes exteriores em Portugal (figura 4.2), percebe-se que desde os anos 1950 a utilização de dois panos de alvenaria com caixa-de-ar entre elas é corrente no País (Sousa, 1996).

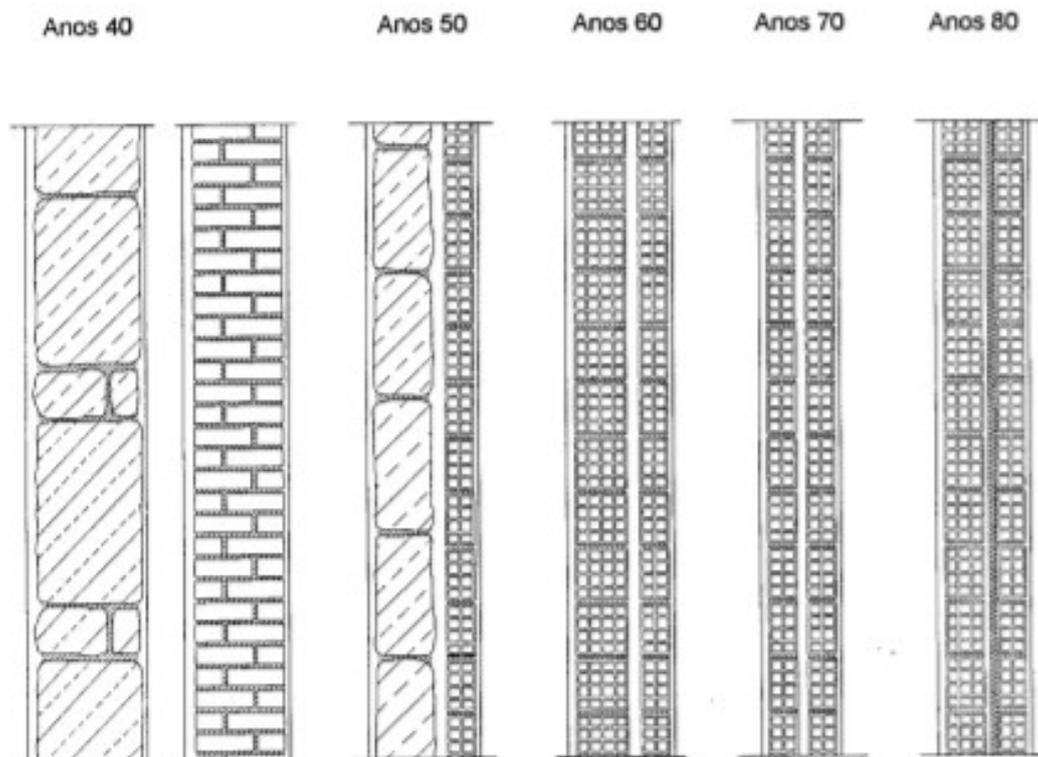


Figura 4.2 – Síntese da evolução paredes exterior em Portugal (Sousa, 1996)

Portanto, em uma perspetiva histórica, é de se esperar que edificios construídos desde a década de 1950 até a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 40/1990 estejam a cumprir os requisitos relativos aos $U_{máx}$ da envolvente opaca verticais, prescrito no modelo DL 95/2019. Isto é, as técnicas construtivas correntes do período descrito, em geral, produziram soluções com coeficientes de transmissão térmicas superficiais abaixo dos máximos determinados pelo DL 95/2019.

4.2.2 Elementos opacos horizontais - Coberturas

Na análise das envolventes opacas horizontais, nomeadamente as coberturas, procedeu-se a comparação dos resultados da folha de cálculo do REH aplicado aos elementos de cobertura do imóvel de base com e sem isolamento térmico. Percebeu-se uma diferença significativa entre o coeficiente de transmissão térmica quando há, ou não, reforço de isolamento.

As soluções de isolamento apresentadas no quadro 4.2 proporcionam coeficientes de transmissão térmica abaixo do máximo estabelecido pelo REH, $U_{máx}$ igual a $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para zona climática II na qual o imóvel base está localizado.

Coberturas com isolamento					
ID do Tipo de Solução	Descrição	Camadas a partir do interior	Espessura Total (m)	$U_{asc.}$ Solução ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	$U_{desc.}$ Solução ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
CBE1	Cobertura exterior com isolamento térmico na face superior da laje	placa de gesso cartonado com 1,3 cm ($R=0,052 m^2 \cdot ^\circ C/W$); lã de rocha com 3 cm de espessura ($R=0,75 m^2 \cdot ^\circ C/W$); laje maciça em betão armado com 20 cm de espessura ($R=0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$); enchimento em betão leve p/ pendente, com esp. média de 10 cm ($R=0,357 m^2 \cdot ^\circ C/W$); sistema de impermeabilização; isolamento térmico XPS com 8 cm de espessura ($R=2,162 m^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar fortemente ventilada; revest. exterior em lajetas de betão de cor clara (coefic. de absorção=0,40).	0,42	0,28	0,27
CBE2	Cobertura exterior plana com isolamento térmico sobre a laje	estruque projetado com 1 cm de espessura ($R=0,023 m^2 \cdot ^\circ C/W$); laje maciça em betão armado com 20 cm ($R=0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$); isolamento térmico XPS com 10 cm de espessura ($R=2,703 m^2 \cdot ^\circ C/W$); revest. exterior em camarinha de zinco de cor clara (coefic. de absorção=0,4).	0,31	0,34	0,33
CBE3	Cobertura exterior inclinada com isolamento térmico nas vertentes inclinadas	estruque projetado com 1 cm de espessura ($R=0,023 m^2 \cdot ^\circ C/W$); laje maciça em betão armado com 20 cm ($R=0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$); isolamento térmico XPS com 10 cm de espessura ($R=2,703 m^2 \cdot ^\circ C/W$); revest. exterior descontinuo em telha cerâmica de cor clara (coef. de absorção=0,4).	0,31	0,34	0,33

Quadro 4.2 – Coberturas - $U_{solução}$ com isolamento térmico

Ao confrontar os valores apurados para a cobertura sem isolamento (quadro 4.3) com o coeficiente de transmissão térmica máximo admissível para coberturas estabelecido pelos dois modelos, REH e DL 95/2019, 0,40 e 0,80 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, respetivamente, para zona climática de inverno II, constata-se o que se segue.

Coberturas sem isolamento					
ID do Tipo de Solução	Descrição	Camadas a partir do interior	Espessura Total (m)	$U_{asc.}$ Solução ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	$U_{desc.}$ Solução ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
CBE1	Cobertura exterior plana	placa de gesso cartonado com 1,3 cm ($R=0,052 m^2 \cdot ^\circ C/W$); caixa de ar com 3 cm de espessura ($R=0,18 m^2 \cdot ^\circ C/W$); laje maciça em betão armado com 20 cm de espessura ($R=0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$); enchimento em betão leve p/ pendente, esp. média de 10 cm ($R=0,357 m^2 \cdot ^\circ C/W$); sistema de impermeabilização; caixa de ar fortemente ventilada; revest. exterior em lajetas de betão de cor clara (coefic. de absorção=0,40).	0,34	1,12	0,97
CBE2	Cobertura exterior plana	estruque projetado com 1 cm de espessura ($R=0,023 m^2 \cdot ^\circ C/W$); laje maciça em betão armado com 20 cm ($R=0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$); revest. exterior em camarinha de zinco de cor clara (coefic. de absorção=0,40).	0,21	3,80	3,00
CBE3	Cobertura exterior inclinada	estruque projetado com 1 cm de espessura ($R=0,023 m^2 \cdot ^\circ C/W$); laje maciça em betão armado com 20 cm ($R=0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$); revest. exterior descontinuo em telha cerâmica de cor clara (coef. de absorção=0,40).	0,21	3,80	3,00

 U próximo ao $U_{máx}$ DL95

 U muito desfasado do $U_{máx}$ DL95

Quadro 4.3 – Coberturas - $U_{solução}$ sem isolamento térmico

As três soluções de cobertura originam-se da mesma laje de betão armado de 20cm, porém, a primeira ao acrescentar um teto falso, de 1,3 cm de espessura, pelo interior do comodo, separado da laje por um desvão de 3 cm e uma camada de enchimento em betão leve para criação de pendente, necessária ao sistema de impermeabilização, apresenta uma melhora de mais de 65% em direção ao cumprimento do requisito.

4.3 Perdas térmica linear

Com o apoio do caso de estudo, pretende-se ampliar o exame do impacte da utilização dos fatores multiplicativos para determinação de perdas térmicas lineares. Assim sendo, ao fazê-los incidir em uma situação mais complexa do que as hipóteses do capítulo 3, verificar como se comportam.

A tabela 4.1 apresenta as transferências de calor pela envolvente vertical opaca e totaliza estes valores.

Transferência de calor por transmissão - Paredes

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
				<i>correção quando a área de envidraçados excede 20% da área útil</i>	3,27	0,40	1,31
PDE1	1,52	0,31	0,47	PDE1	1,52	0,40	0,61
PDE2	32,28	0,50	16,14	PDE2	32,28	0,40	12,91
PDE3	6,29	0,47	2,96	PDE3	6,29	0,40	2,52
PTPPDE1	0,78	0,52	0,41	PTPPDE1	0,78	0,40	0,31
PDE8	0,66	0,30	0,20	PDE8	0,66	0,40	0,26
PDE1	2,84	0,31	0,88	PDE1	2,84	0,40	1,14
PDE4	3,68	0,39	1,44	PDE4	3,68	0,40	1,47
PDE2	11,01	0,50	5,51	PDE2	11,01	0,40	4,40
PDE7	4,00	0,27	1,08	PDE7	4,00	0,40	1,60
PDE5	11,74	0,36	4,23	PDE5	11,74	0,40	4,70
PTPPDE2	2,95	0,43	1,27	PTPPDE2	2,95	0,40	1,18
PDE8	0,66	0,30	0,20	PDE8	0,66	0,40	0,26
PDE2	28,36	0,50	14,18	PDE2	28,36	0,40	11,34
TOTAL			48,94	TOTAL			44,02

Tabela 4.1. Total das transmissões pela envolvente opaca vertical

Apresenta-se, na tabela 4.2, as transferências de calor através das pontes térmicas lineares e o total destes valores.

Sucedese a soma dos totais obtidos nas tabela 4.1 e 4.2 para que se compare este resultado com aquele que será levantado através da forma adotada, pelo modelo DL 95/2019, para quantificar as perdas térmicas lineares. Na referida operação, apurou-se o somatório de 187,70 $W/^{\circ}C$, total da transferência de calor por transmissão da envolvente vertical opaca mais pontes térmicas lineares.

Transferência de calor por transmissão - PTL

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m. $^{\circ}C$	$\psi.B$ W/ $^{\circ}C$	PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m. $^{\circ}C$	$\psi.B$ W/ $^{\circ}C$
Fach. com pavimentos térreos	11,34	0,70	7,94	Fach. com pavimentos térreos	11,34	0,50	5,67
Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	10,17	0,70	7,12	Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	10,17	0,50	5,09
Fachada com pavimento intermédio	86,48	0,70	60,54	Fachada com pavimento intermédio	86,48	0,50	43,24
Fachada com cobertura	36,13	0,70	25,29	Fachada com cobertura	36,13	0,50	18,07
Duas paredes verticais em ângulo saliente	30,97	0,50	15,49	Duas paredes verticais em ângulo saliente	30,97	0,40	12,39
Fachada com caixilharia	74,62	0,30	22,39	Fachada com caixilharia	74,62	0,20	14,92
TOTAL			138,76	TOTAL			99,37

Tabela 4.2. Total das transmissões pelas pontes térmicas lineares

Para selecionar o fator multiplicativo de determinação das perdas térmicas lineares faz-se necessário estabelecer o $U_{médio}$ da envolvente vertical opaca. Para o efeito, optou-se por adotar o valor do U da solução da parede PDE2, que corresponde a mais de 50% da área total da envolvente vertical opaca. Logo, considera-se o $U_{médio}$ igual a 0,80 o que implica a seleção do fator de 1,5.

Sendo a área total da envolvente vertical opaca igual a 78,41 m^2 , através do produto desta área com o coeficiente de transmissão média das paredes ($U_{médio}$) obtém-se o resultado de 62,73 $W/^{\circ}C$ que, agravado pelo fator multiplicativo de 1,5, passa a ser 94,09 $W/^{\circ}C$. Ao comparar este valor com o somatório da transferência de calor por transmissão da envolvente vertical opaca com as pontes térmicas lineares verifica-se que para surtir resultados equivalentes o fator teria que ser algo a volta de 3,0.

4.4 Fatores solares de vãos envidraçados

A folha de cálculo do REH, aplicada ao imóvel de base, gera resultados que atendem ao modelo REH. Tal como esperado, a folha de cálculo do REH anula o $g_{Tmáx}$ referente aos vãos envidraçados cuja relação A_{env}/A_{pav} resulte menor que 5% e/ou estejam voltados a Norte,

Nordeste e Noroeste e, para A_{env}/A_{pav} maior que 5% e as demais orientações, aplica o $g_{Tmáx}$ compatível com a classe de inércia e zona climática em questão.

Em função dos valores nulos apurados, conforme descrito, optou-se por modificar a orientação do edifício de forma que o alçado com maior área envidraçada saísse do quadrante Norte e cedesse a posição para a envolvente geminada, o que produziu mais valores na folha de cálculo e ampliou a comparação de dados entre os dois modelos (tabela 4.3).

Ressalta-se que apesar do quadro III, do modelo DL 95/2019 (figura 2.13), considerar todos os quadrantes (salvo para os vãos envidraçados com área menor que 5% daquela referente ao compartimento a que serve e que estejam, concomitantemente, voltados a Norte), não há indicação de valores de $g_{Tmáx}$ para quando os vãos envidraçados estão em posição horizontal.

Fatores Solares

ID vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	g_{τ} corrigido	$g_{Tmáx}$ REH	$A_{env} < 5\% A_{pav}$	A_{env}/A_{pav}	$g_{Tmáx}$ DL95
1	IS1 - Cave	VE1	Sul	0,23	0,56	Não	8%	0,40
2	IS2 - Piso 1	VE2	Oeste	0,19	0,51	Não	17%	0,15
3	Quarto 3 - Piso 1	VE2	Oeste	0,22	0,27	Não	31%	0,15
4	Sala Comum - Piso 0	VE2	Este	0,22	0,35	Não	24%	0,30
5	Sala Comum - Piso 0	VE2	Este	0,22	0,35	Não	24%	0,30
6	Quarto 2 - Piso 1	VE2	Este	0,22	0,50	Não	17%	0,30
7	Quarto 1 - Piso 1	VE2	Este	0,22	0,45	Não	19%	0,30
8	Cozinha - Piso 0	VE3	Sul	0,03	0,08	Não	105%	0,40
9	Sala Comum - Piso 0	VE3	Oeste	0,04	0,35	Não	24%	0,15
10	Sala polivalente - sótão	VE3	Oeste	0,04	-	Sim	5%	0,15
11	ZE - Piso 1	VE4	Sul	0,20	0,47	Não	18%	0,30
12	Cozinha - Piso 0	VE5	Horizontal	0,08	0,08	Não	105%	✗
13	IS3 - Sótão	VE6	Horizontal	0,23	0,29	Não	29%	✗

não atende DL95 mais exigente que DL95 mais exigente que REH

Tabela 4.3. Comparativo $g_{Tmáx}$ REH e $g_{Tmáx}$ DL 95/2019

Na dos valores máximos admissíveis de $g_{Tmáx}$, para imóvel de base, já com orientação modificada, verifica-se um maior rigor, deste requisito, no modelo DL 95/2019 em relação ao estabelecido pelo modelo REH. A exceção do vão envidraçado identificado com ID 8 que apresenta área muito elevada, situação onde REH apresenta uma sensibilidade maior em função do seu modelo de cálculo.

Identificou-se para o tipo de solução adotada no vão ID 3 que este atende ao requisito estabelecido no REH e desobedece o instituído pelo DL 95/2019.

A análise das duas situações excepcionais, onde a área do envidraçado são maiores que 30% da área do compartimento a que serve, leva a crer que no limite superior deve-se encontrar as maiores discrepâncias entre os modelos de cálculo.

4.5 Necessidades nominais anuais de energia útil

Para aferição das necessidades nominais anuais de energia útil tanto na estação de aquecimento quanto na de arrefecimento, ajustou-se a localização do edifício para uma zona climática I2 V2 tornando reduzindo a influência de situações climáticas mais extremas.

A orientação dos alçados escolhidas para as análises necessidades energéticas sofreu o mesmo aplicado quanto do estudo da secção 4.4, Fatores solares de vãos envidraçados.

4.5.1 Necessidade nominal anual de energia útil para aquecimento

Com o auxílio da folha de cálculo do REH foram produzidas três condições construtivas para o edifício:

- A atender aos requisitos do REH;
- A atender somente os requisitos do DL 95/2019; e
- Sem obedecer os requisitos anteriores.

Pelos valores apurados para necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) (Gráfico 4.1) relacionadas às condições construtivas acima descritas verifica-se que a redução do N_{ic} ao atender os requisitos do DL 95/2019 é da ordem de 50%.

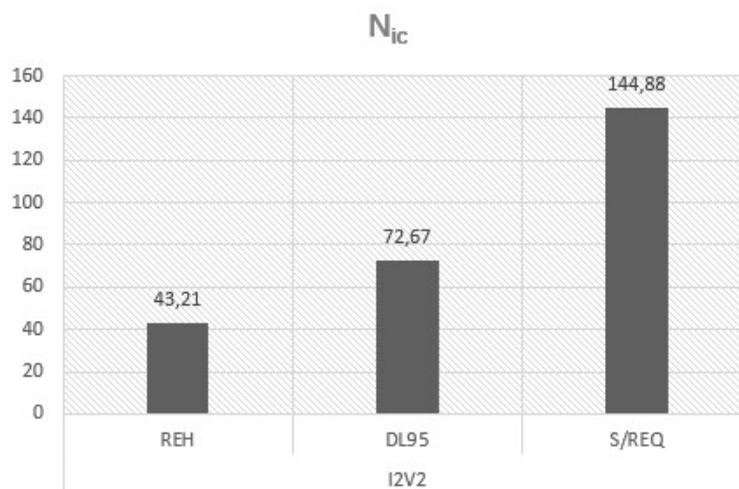


Gráfico 4.1 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

4.5.2 Necessidade nominal anual de energia útil para arrefecimento

Ainda a comparar as condições construtivas da secção anterior, foram compilados os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) (Gráfico 4.2).

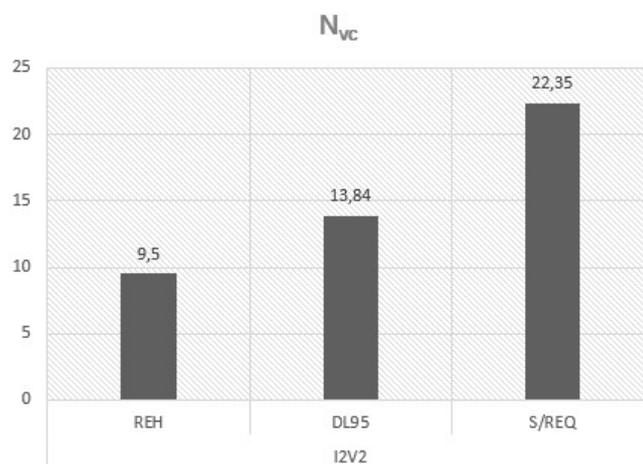


Gráfico 4.2 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

Os resultados demonstram, também, que a um abrandamento do N_{ic} ao obedecer os requisitos do DL 95/2019, neste caso, a redução aproximada foi de 40%.

4.6 Necessidades nominais e máximas de energia primária

Novamente a valer-se daquelas condições construtivas, descritas na subsecção 4.5.1, levantou-se os valores para as necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) na qual inclui-se a energia útil requerida para preparação de água quente sanitária (Q_a), sendo esta última igual para as três condições.

Os valores apurados para N_{tc} estão apresentados no gráfico 4.3, a seguir.

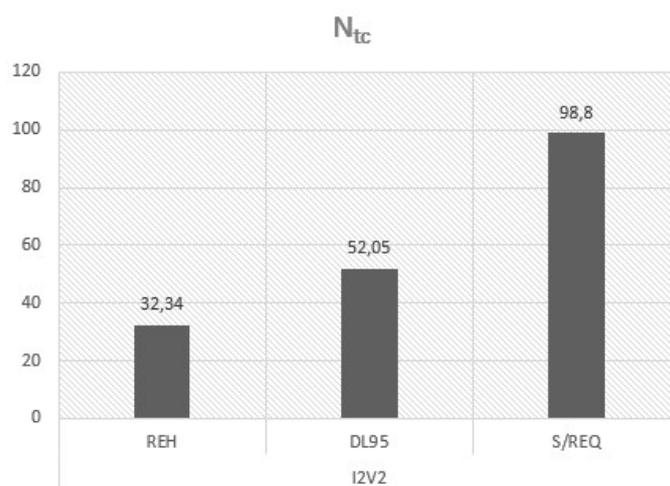


Gráfico 4.3 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária

Tal como era provável, dado o comportamento de N_{ic} e N_{vc} , o valor do N_{ic} acompanha a tendência das duas necessidades energéticas e exibe uma redução entre os 50 e 40% quando se aplicam os requisitos do DL 95/2019 ao edifício sem isolamento.

Interessa ainda apontar o comportamento da relação entre os valores das necessidades nominais e limite máximos de energia primária (N_{ic}/N_t) mesmo porque, como se sabe, está relação determina a classe energética no Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). No gráfico 4.4, a seguir, são exibidos os resultados referentes as três condições construtivas.

Vale lembrar que a necessidade energética decorrente da preparação de AQS é a mesma nas três hipóteses e que é utilizada energia produzida a partir de fontes renováveis para sua produção. Foram utilizados equipamentos para climatização de inverno e verão energeticamente eficientes nos três edifícios hipotéticos.

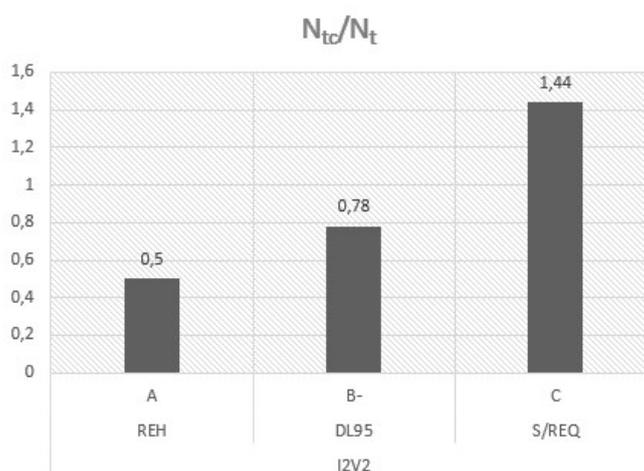


Gráfico 4.4 – Relação N_{ic}/N_t a utilizar energia renovável

Ao examinar os casos em análise, observa-se que nos três casos as classes energéticas obtidas atendem ao que o REH estabelece para reabilitações enquadradas como grande intervenções, ou seja, superiores a Classe C. Este facto se explica dado o uso de energia renovável e equipamentos eficientes.

Ao retirar a influência da energia renovável e dos equipamentos, levando a zero os valores referentes a estes quesitos, na folha de cálculo, tem-se o que se apresenta no gráfico 4.5.

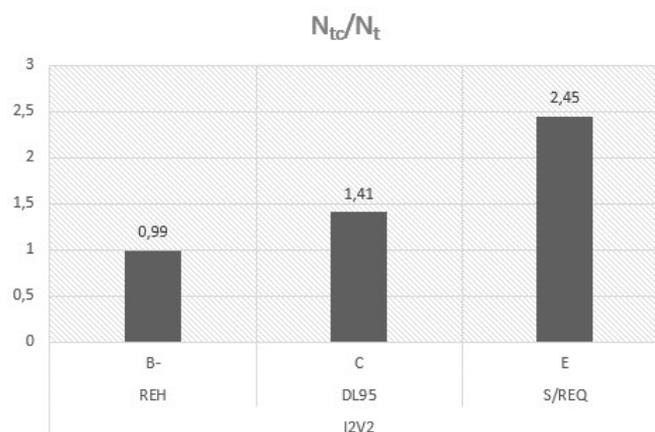


Gráfico 4.5 – Relação N_{tc}/N_t sem energias renováveis

Neste cenário observa-se o grau de influência dos sistemas passivos na determinação da classe energética dos edifícios. Porém, para se falar de redução de custos relacionados ao consumo de energia não é possível desprezar os sistemas técnicos, ou seja, os equipamentos.

4.7 Repercussões económicas

4.7.1 Custos de intervenção

Para avaliar as repercussões económicas a que estão sujeitos as decisões tomadas no cenário da reabilitação térmica de edifícios, elaborou-se estimativa de custo referente aos elementos intervencionados para o caso de estudo, nas hipóteses a atender aos modelos REH e DL95/2019.

O critério usado para quantificação de cada tipo de intervenção foi o que se segue.

Para cumprir o REH:

- Área total das paredes exteriores;
- Área total da cobertura; e
- Substituição das janelas.

Para cumprir o DL95/2019:

- Área das paredes exteriores que não atendem o requisito máximo;
- Área total de cobertura; e
- Reabilitação das janelas para atender o requisito máximo.

Na tabela 4.4, que totaliza os custos para ajustar o caso de estudo a cumprir o REH, os custos por metro quadrado das soluções de isolamento utilizados nas soluções de isolamento das

paredes e cobertura são os mesmos utilizados no quadro 3.1., do capítulo 3, para os envidraçados adotou-se o custo-padrão para substituição de vãos envidraçados com dispositivos de sombreamento pelo exterior, indicado na tabela 1, da Portaria n.º 303/2019, de 12 de Setembro.

Estimativa de custos de intervenção a atender o REH

Elemento Construtivo	Solução de isolamento	Área	Custo [€/m ²]	Custo Total [€]	Peso no Custo Total
Paredes da envolvente	XPS (25-40 [kg/m ³]), $\lambda=0,037$ [W/(m.°C)], espes. 80 mm, aplicado pelo interior	106,77	20	2135	11%
Cobertura inclinada laje aligeirada, blocos cerâmicos, espessura 15 cm	XPS (25-40 [kg/m ³]), $\lambda=0,037$ [W/(m.°C)], espes. 100 mm, aplicado pelo interior	63,03	25	1576	8%
Vão envidraçados	Substituição de vãos envidraçados com dispositivos de sombreamento pelo exterior	37,87	400	15148	80%
CUSTO TOTAL ESTIMADO - €				18859	100%

Tabela 4.4 - Reabilitação térmica a atender REH

O custo estimado para ajustar o caso de estudo ao DL 95/2019 vê-se na tabela 4.5, abaixo. Tal como na estimativa de custos de intervenção para atender o REH, os custos unitários [€/m²] das soluções de isolamento para parede e cobertura, são os mesmos utilizados no quadro 3.1., do capítulo 3.

Para determinar o custo unitário de reabilitação das janelas para atender o requisito máximo para o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados utilizaram-se 50% do custo-padrão para substituição de vãos envidraçados com dispositivos de sombreamento pelo exterior, indicado na tabela 1, da Portaria n.º 303/2019, de 12 de setembro.

Estimativa de custos de intervenção a atender o DL 95/2019

Elemento Construtivo	Solução de isolamento	Área	Custo [€/m ²]	Custo Total [€]	Peso no Custo Total
Paredes coeficiente $U < 1,50$ [W/m ² .°C]	XPS (25-40 [kg/m ³]), $\lambda=0,037$ [W/(m.°C)], espes. 80 mm, aplicado pelo interior	67,13	20	1343	13%
Cobertura inclinada laje aligeirada, blocos cerâmicos, espessura 15 cm	XPS (25-40 [kg/m ³]), $\lambda=0,037$ [W/(m.°C)], espes. 100 mm, aplicado pelo interior	63,03	25	1576	15%
Vão envidraçados	Reabilitação das janelas para atender o requisito máximo do DL95/2019	37,87	200	7574	72%
CUSTO TOTAL ESTIMADO - €				10492	100%

Tabela 4.5 - Reabilitação térmica a atender DL 95/2019

4.7.2 Custo anual de energia

Utilizando-se os resultados apurados de N_{ic} , apresentados na subsecção 4.5.1, procede-se o cálculo custos anuais de energia para cada uma daquelas condições construtivas, aplicando-se a seguinte expressão:

$$\frac{N_{ic} \cdot A_p \cdot C_{ee}}{\eta_k} \quad (5)$$

Em que:

N_{ic} – Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².°C)]

A_p – Área interior útil de pavimento [m²]

C_{ee} – Custo da energia elétrica [€/kWh]

η_k – Eficiência do sistema k .

Os valores a assumir na expressão são os que se seguem:

- Para N_{ic} serão utilizados os números apresentados no gráfico 4.1;
- Área interior útil de pavimento, no imóvel do caso de estudo, é de 151,83 m²;
- O custo da eletricidade é de 0,17 €/kWh; e
- Eficiência do sistema igual a 1, valor por defeito, considerado quando não existem equipamentos específicos para climatização.

Calculou-se um período de retorno dos investimentos em isolamento térmico cujos custos estão expressos nas tabelas 4.6 e 4.7, utilizando como valor de amortização a poupança de energia obtida através da diferença entre o custo de energia anual na condição construtiva sem atender a requisitos (SREQ) e o custo de energia anual de cada uma das outras duas condições construtivas, a atender o REH e a atender o DL95/2019.

Os resultados são os apresentados na tabela 4.6, a seguir:

Retorno do investimento em isolamento - 100% necessidades

Condição Construtiva	N_{ic}	Custo Intervenção [€]	Custo Energia [€/ano]	Poupança Energia [€/ano]	Retorno da intervenção [ano]
REH	43,21	18859	1115	2624	7,2
DL95	72,67	10492	1876	1864	5,6
SREQ	144,88	0	3740	0	0

Tabela 4.6 - Retorno do investimento a 100%

Observa-se que no caso da condição construtiva a atender o DL95/2019, mesmo a poupança energética sendo mais baixa, o período de retorno é mais curto do que o investimento para atingir os requisitos estabelecidos pelo REH. São necessários, aproximadamente, um ano e seis meses a mais para a amortização completa do investimento que atinge condições de eficiência energética melhores.

Aplicou-se também o mesmo modelo de cálculo de retorno do investimento para uma situação de consumo de 30%, o que se tem em conta refletir os hábitos de consumo de energia de muitos lares do País.

Na tabela 4.7, a seguir, são expostos os resultados da avaliação.

Retorno do investimento em isolamento - 30% necessidades

Condição Construtiva	N_{ic}	Custo Intervenção [€]	Custo Energia p/ 30% necessid. [€/ano]	Poupança Energia [€/ano]	Retorno da intervenção [ano]
REH	43,21	18859	335	787	24,0
DL95	72,67	10492	563	559	18,8
SREQ	144,88	0	1122	0	0

Tabela 4.7 - Retorno do investimento a 30%

Nota-se que em uma condição de consumo mais moderada a diferença entre os períodos de retorno se amplia de um ano e seis meses para cinco anos e dois meses, aproximadamente.

Diante destes resultados, conclui-se que em um cenário de atendimento de 100% das necessidades, sopesadas as limitações impostas para a aplicação do REH, atenuado pelo tempo de retorno relativamente curto, aplicar em sistemas passivos nas condições estabelecidas pelos requisitos do DL 95/2019 sugerem representar um bom investimento.

Depreende-se, também, que ao simular um comportamento de baixo consumo de energia, na ordem de 30% das necessidades, comportamento típico de uma grande parcela da população, se obtém uma poupança a volta de 50% quando se aplica os requisitos do DL95/2019 em relação a condição construtiva sem observância de requisitos. Nos bairros de habitação social, as intervenções baseadas no regime especial poderá significar melhoria de conforto a partir de custos mais racionais.

4.8 Outros pontos importantes

Embora não esteja a tratá-los diretamente no modelo DL 95/2019, alguns outros aspetos tem particular importância no cenário da reabilitação energética de edifícios. Aproveita-se, portanto, o caso de estudo com o auxílio da folha de cálculo do REH para comentá-los.

4.8.1 Inércia térmica

Para desenvolver a análise relativa a influência da inércia térmica nos edifícios, utilizou-se o edifício de base que atende aos requisitos do REH tendo os três alçados que possuem vãos envidraçados orientados para direções diferentes do Norte. Criaram-se três tipos de variações que foram entre si combinadas, a primeira em relação a zona climática, a segunda aumentando a área dos vãos envidraçados e a terceira associando as classes de inércia forte, média e fraca.

As zonas climáticas escolhidas foram I1V3, I2V2 e I3V1 de forma a representar os dois extremos climáticos de inverno e verão bem como a situação intermédia nas duas estações.

O aumento da área envidraçada foi da ordem de 30% em relação ao projeto original do edifício. Este aumento dos vãos está denominado nos gráficos com a legenda MAIOR e a legenda IGUAL representa o não aumento de área.

Através dos gráficos 4.6 e 4.7 são apresentados os resultados obtidos através da folha de cálculo para as dezoito situações elaboradas.

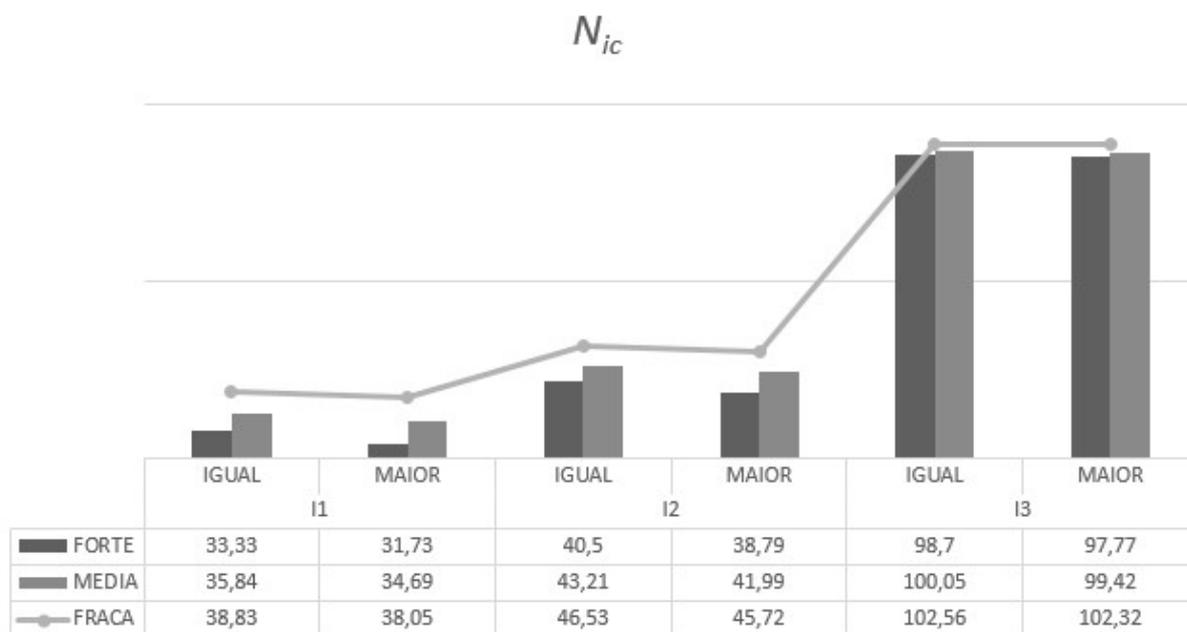


Gráfico 4.6 – Necessidades nominais de energia para aquecimento

O senso de que na zona climática I3V1 tem as necessidades nominais de energia útil para aquecimento maiores que as duas outras se confirma.

Em relação ao impacto dos vãos envidraçados, verifica-se que com o aumento da área das janelas a necessidade energética de aquecimento diminui.

No que se ao ponto focal desta análise, conclui-se que uma classe de inércia forte favorece a redução das necessidades nominais de energia (N_{ic}) sendo portanto quando da decisão da aplicação do isolamento no edifício quantificar e confrontar as perdas e ganhos relacionados a inércia térmica.

A seguir, no gráfico 4.7, compilam-se os resultados alcançados no cálculo das necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento.

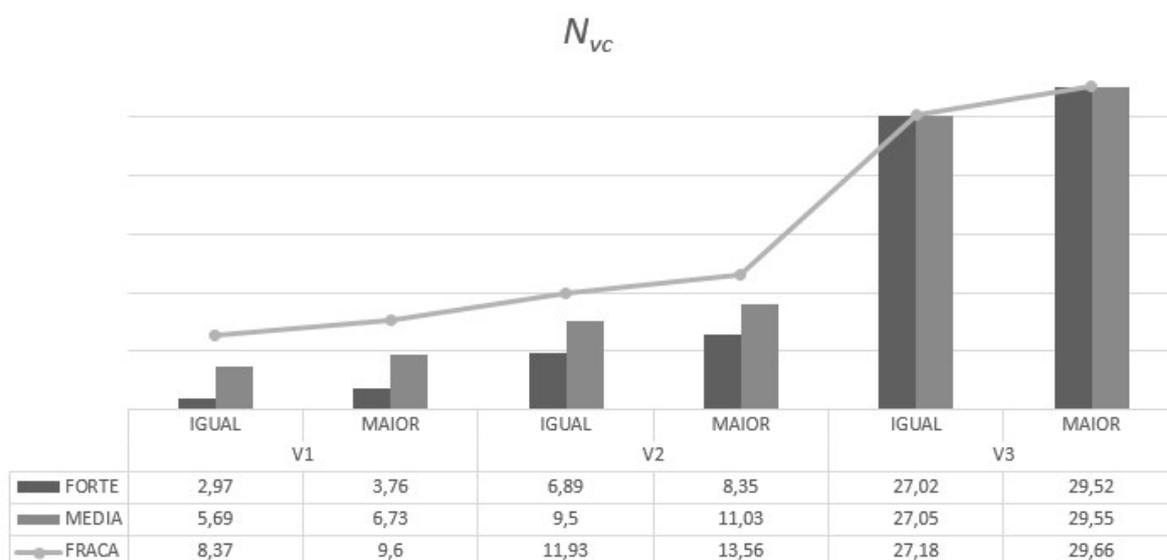


Gráfico 4.7 – Necessidades nominais de energia para arrefecimento

Por óbvio, a zona climática IIV3 apresenta necessidades energéticas de arrefecimento superiores às requeridas para as outras duas zonas.

Ao contrário do que acontece com as necessidades de aquecimento comprova-se o aumento de necessidades energéticas de arrefecimento a medida em que os vãos envidraçados aumentam suas dimensões.

Analogamente ao comportamento associado a inércia térmica na estação de aquecimento, corrobora a influência positiva da classe de inércia forte na redução das necessidades de energia útil para arrefecimento.

4.8.2 Coeficiente de absorção solar

Outro aspeto importante no comportamento energético dos edifícios, e que deve-se atentar nas reabilitações, é a questão da cor dos materiais a qual tem efeito no coeficiente de absorção solar (α). Este coeficiente α varia conforme seja a cor clara, média ou escura e corresponde aos valores de 0,4; 0,5 e 0,8 respetivamente.

Portanto, conclui-se por dizer que ao decidir por um material de cor escura opta-se por um aumento de absorção de radiação solar o que pode ser benéfico estação de aquecimento mas extremamente prejudicial às necessidades de arrefecimento, como se verifica no gráfico 4.8, abaixo, elaborado a partir dos resultados obtidos através da folha de cálculo REH, para o imóvel situado na zona climática V2.

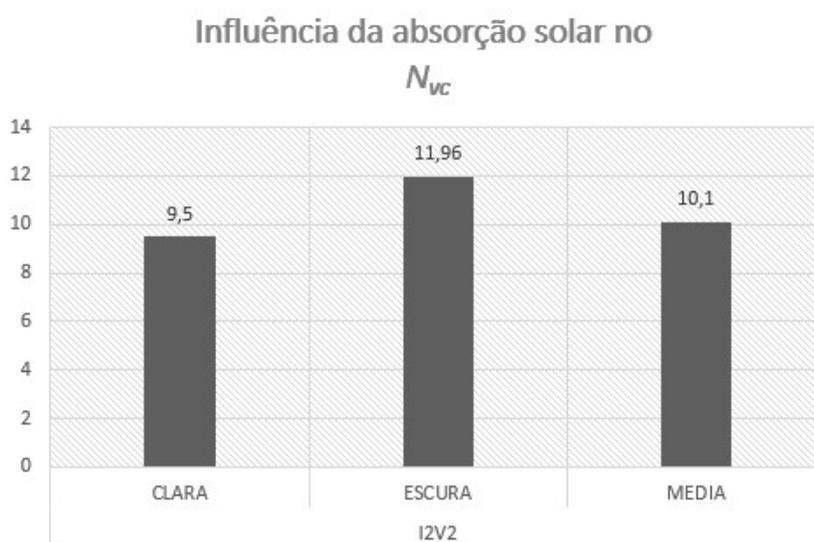


Gráfico 4.8 – Influência da coeficiente de absorção solar sobre o N_{vc}

Ainda na perspetiva da absorção solar, a um outro conceito associado que a emissividade (ϵ) com relevância ao tratar de fachadas ventiladas e coberturas em desvão. Sobretudo na estação de arrefecimento e em zonas muito quentes, o uso de fachadas ventiladas pode ser uma estratégia eficaz para redução dos ganhos térmicos.

4.8.3 Proteção dos vãos envidraçados

Também de maior relevância do ponto de vista do verão, é importante ter em conta a proteção dos vãos envidraçados. A escolha principalmente da posição, interior ou exterior, desta proteção refletem no ganho térmico.

Com o auxílio da folha de cálculo REH procedeu-se três ensaios, todos a considerar a existência de vidros duplos incolor com 4 a 8 mm pelo exterior mais 5 mm pelo interior, o que representa um fator solar do vidro para incidência solar normal ao vão ($g_{L,vi}$) igual a 0,75, conforme tabela 12, do Despacho n.º 15793-K/2013. Em relação aos valores do fator solar de vãos envidraçados com vidro duplo e dispositivos de proteção solar de cor clara (g_{Tvc}), conforme tabela 13, do mesmo Despacho, com as seguintes variações:

- Proteções exteriores, persiana de réguas metálicas ou plásticas 0,04
- Proteções interiores, cortinas opacas 0,37

No gráfico 4.9 são apresentados os valores de N_{vc} para os três ensaios.

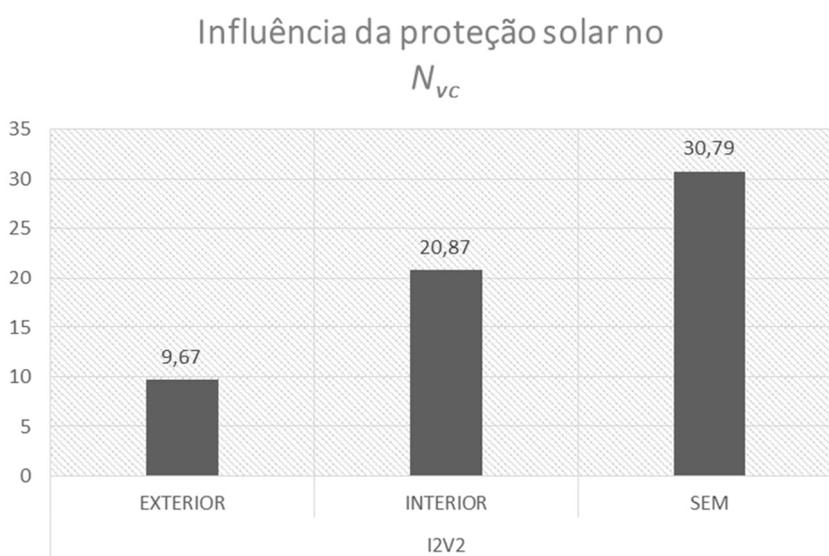


Gráfico 4.9 – Influência da proteção dos envidraçados sobre o N_{vc}

Observa-se o grande impacto que a existência ou não de proteção nos vãos envidraçados provoca nas necessidades de arrefecimento, mormente, quando a proteção está aplicada pelo exterior, o que resultou em uma redução de N_{vc} na ordem de 70%, no caso de estudo.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Após percorrer a linha metodológica planeada, executando a análise comparativa entre o REH e o DL 95/2019, examinando as soluções construtivas correntes, com as quais se defronta nos diversos cenários da reabilitação, e a avaliação vários casos de estudos, simplificados e mais complexos, reuniu-se um conjunto de informações com o qual julga-se possível avaliar o atingimento dos objetivos do trabalho.

5.1 Conclusões

É inegável que na perspetiva da eficiência energética dos edifícios a adoção dos requisitos estabelecidos pelo REH resulta em um imóvel com características térmicas e energéticas que, por vezes, podem significar a busca por classificar o edifício como tendo necessidades quase nulas de energia, os conhecidos como NZEB.

Porém, no cenário da reabilitação esta busca se revela afinal inalcançável, mesmo porque existem, para este cenário, princípios explícitos os quais devem ser perseguidos e alcançados da melhor forma e sempre que possível dentro das limitações que estas operações de reabilitação impõem.

Estes princípios, que não soe demasiado lembrar, são os seguintes:

- Princípio da proteção e valorização do existente;
- Princípio da sustentabilidade ambiental; e
- Princípio da melhoria proporcional e progressiva.

É importante, entretanto, reafirmar a premissa básica que norteia a aplicação dos requisitos estabelecidos pelo DL 95/2019, a garantia da salubridade e do conforto nas habitações pois, no limite, o de todo essencial é assegurar estas condições. A partir deste entendimento é mais simples perceber que intervenções para melhoria do comportamento térmico, por mais singelas que sejam, são melhores que nenhuma.

Deste ponto, os ganhos térmicos implícitos não partem de uma comparação com determinações normativas mais exigentes, como é o caso do REH, e sim com a hipótese de não se promover uma melhoria proporcional e progressiva, ou seja, não se fazer nada em termos de comportamento térmico.

É mister ressaltar que uma abordagem nihilista sobre o edificado à guisa de melhorar o caráter térmico e energético a níveis magníficos são uma ameaça incontestável à salvaguarda dos valores existentes. Com este trabalho foi possível verificar situações com um bom equilíbrio entre intervenção e ganhos de comportamento térmico.

Aliado a proteção e a valorização do existente, uma intervenção menos destrutiva, na trilha da reabilitação energética, corrobora as ações de prolongamento da vida útil dos componentes construtivos, reduz os resíduos da construção e, enfim, atua de forma compatível com a sustentabilidade ambiental.

Verificou-se que estabelecer $U_{máx}$ maiores, dentro do cenário das soluções construtivas correntes, trará grandes ganhos relacionados aos princípios da preservação e da sustentabilidade pois está fásquia torna possível o aproveitamento de componentes construtivos, nomeadamente as janelas cuja as substituições geram custos ambientais e financeiros significativos.

Ficou claro, também, que energeticamente, em termos de custo benefício, é mais vantajoso reforçar o isolamento da envolvente exterior de forma a cumprir o REH, do que atender apenas os requisitos do DL95/2019. Contudo, e especialmente no caso das paredes exteriores a preservar, muitas vezes é praticamente impossível cumprir os requisitos do REH, sendo possível, em geral, cumprir o DL 95/2019, melhorando, significativamente, as condições de conforto térmico em relação ao estado inicial sem isolamento.

Observou-se que a determinação de fatores solares máximos ($g_{Tmáx}$) mais altos em situações de classe de inércia fraca pode ser interpretado como uma medida de incentivo para favorecer a aplicação de isolamento térmico, mesmo que pelo interior da envolvente uma vez que aqueles materiais aplicados nesta posição acabam por tornar a classe de inércia mais fraca.

Averiguou-se que em um cenário de consumo perene de energia para suprir necessidades de manutenção constante da faixa de temperatura de conforto, aplicar em sistemas passivos nas condições estabelecidas pelos requisitos do DL 95/2019 sugerem representar um bom investimento, haja vista o tempo de retorno relativamente curto.

Conclui-se, ainda, em comportamento de baixo consumo de energia, típico de uma grande parcela da população, a poupança de energia pode chegar a volta de 50% quando se aplica os requisitos do DL95/2019 em relação a condições construtivas sem respeitar requisitos. Isto poderá significar, nos bairros de habitação social, uma democratização do conforto a partir de custos mais racionais dada as limitações impostas, em muitos casos, para a aplicação do REH.

5.2 Trabalhos futuros

A partir dos pontos levantados, com referência as premissas de determinações estabelecidas pelo Decreto-Lei 95/2019, concebe-se algumas linhas de investigação pertinentes

- Análise de conforto térmico associados a perfis de consumo energético diferenciados sob a ótica do regime especial;
- Estudos de rentabilidade da reabilitação energética a luz do Decreto-Lei 95/2019 e a meta transformar um edifício como necessidades quase nulas de energia (NZEB); e
- Pesquisa de soluções de reabilitação de caixilharias correntes sob a égide do Decreto-Lei 95/2019, de 18 de julho.

Sendo as conclusões apresentadas válidas para os casos de estudo específicos utilizados, no futuro, o trabalho também poderá passar por uma avaliação e comparação mais abrangente, utilizando muitos outros casos de estudo, de forma a cobrir as principais situações existentes no parque habitacional a reabilitar.

6 BIBLIOGRAFIA

- APICER, CFCV, DEC-FCTUC (2000), *Manual de Alvenaria de Tijolo*. Associação Portuguesa da Indústria da Cerâmica. Coimbra.
- Curado, A.J.C. (2014), *Conforto térmico e eficiência energética nos edifícios de habitação social reabilitados*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto. Porto. 264 pp.
- CYPE Ingenieros S.A., *Gerador de Preços. Portugal*. Acedido em 03 de Dezembro de 2019, em: www.geradordepreco.info.
- Decreto-Lei n.º 38382/51 de 7 de Agosto. *Diário do Governo n.º 166/1951, 1º Suplemento, Série I*. Ministério das Obras Públicas - Gabinete do Ministro. Lisboa
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. *Diário da República n.º 159/2013, Série I*. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de Abril. *Diário da República n.º 69/2014, Série I*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 194/2015 de 14 de Setembro. *Diário da República n.º 179/2015, Série I*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de Junho. *Diário da República n.º 119/2016, Série I*. Ministério da Economia. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de julho. *Diário da República n.º 136/2019, Série I*. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 de 3 de Dezembro. *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia. Lisboa.
- Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro. *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia. Lisboa.
- Freitas, V.P., Guimarães, A.S., Costa, A., Arêde, A., Carvalho, A.P.O., Begonha, A., Medeiros, C., Paupério, E., Barreira, E., Corvacho, H., Sousa, H., Porto, J.L., Guedes, J.M., Faria, J.A.,

-
- Quintela, M.A., Ramos, N. e Póvoas R.F. (2012). *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. OERN. Porto.
- Freitas, V.P., Santos, C.P. (2019). Comportamento térmico e eficiência energética. Novo regime aplicável à reabilitação – DL n.º 95/2019. *Construção Magazine*, **94**: 16-19.
- Itecons, *Catálogo de Pontes Térmicas Lineares*, Acedido em 15 de Janeiro de 2020, em: <https://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php?module=catlg>.
- Lei n.º 52/2018 de 20 de Agosto. *Diário da República n.º 159/2018, Série I*. Assembleia da República. Lisboa.
- Lei n.º 70/2018 de 31 de Dezembro. *Diário da República n.º 251/2018, Série I*. Assembleia da República. Lisboa.
- NP 1037-1 (2002). *Norma Portuguesa para Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.
- Portaria n.º 349-A/2013 de 29 de Novembro. *Diário da República n.º 232/2013, 1º Suplemento, Série I*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro. *Diário da República n.º 232/2013, 1º Suplemento, Série I*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Portaria n.º 349-C/2013 de 2 de Dezembro. *Diário da República n.º 233/2013, 2º Suplemento, Série I*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Portaria n.º 379-A/2015 de 22 de Outubro. *Diário da República n.º 207/2015, 2º Suplemento, Série I*, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Portaria n.º 319/2016 de 15 de Dezembro. *Diário da República n.º 239/2016, Série I*. Economia. Lisboa.
- Portaria n.º 98/2019 de 2 de Abril. *Diário da República n.º 65/2019, Série I*. Ministério do Ambiente e Transição Energética. Lisboa.
- Portaria n.º 297/2019 de 9 de Setembro. *Diário da República n.º 172/2019, Série I*. Ministério do Ambiente e Transição Energética. Lisboa.
-

Portaria n.º 303/2019 de 12 de Setembro. *Diário da República n.º 175/2019*, Série I. Ministério das Infraestruturas e Habitação. Lisboa.

Projeto RcR (2019). *Relatório-síntese das propostas de alteração regulamentar, Parte C – Comportamento térmico e eficiência energética*. Lisboa.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 170/2017 de 9 de Novembro. *Diário da República n.º 216/2017*, Série I. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.

Santos, C.A.P., Matias, L. (2006), *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - ITE 50*. LNEC. Lisboa.

Sousa, H.J.C. (1996), *Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação na geometria dos elementos – Aplicação a blocos de betão de argila expandida*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto. Porto. 396pp.

Tadeu, S.F. (2015), *Rentabilidade da reabilitação energética de edifícios*, Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra. 253pp.