

Reabilitação Térmica de Fachadas

LILIANA MAFALDA NUNES SOARES

Outubro de 2014



REABILITAÇÃO TÉRMICA DE FACHADAS

Liliana Mafalda Nunes Soares

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil –

Ramo Construções – pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador: Eng.º José Carlos Campeão

Outubro 2014

Aos meus Pais e Irmão

Ao Rui Santos

"Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes"

Marthin Luther King

AGRADECIMENTOS

A realização de uma Dissertação de Mestrado é uma tarefa individual e autónoma, semelhante a uma prova de ciclismo, durante a qual o ciclista só pode contar com as suas capacidades para a concluir. No entanto, mesmo esse atleta depende de um conjunto de ajudas essenciais para o seu sucesso.

Aproveito para agradecer em especial aos meus Pais, pelo amor, carinho e apoio, sempre zelando pelo meu futuro, ensinando-me que é a cair que se aprende a andar e por ainda segurarem na minha mão quando estou desassossegada.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Eng.º José Carlos Campeão, pela disponibilidade, colaboração e todo o apoio empenhado na realização deste trabalho desenvolvido.

Agradeço ao Rui Santos, por toda a paciência que demonstrou ter nos momentos de desespero em que o mundo parecia desabar, por todo o incentivo e carinho para que conseguisse chegar ao fim desta caminhada.

Um agradecimento ao Prof. Cabral e ao Carlos Valente pela leitura deste trabalho e pela análise feita, não teria sido fácil sem o vosso apoio.

Agradeço a toda a minha família, que direta ou indiretamente me incentivou a que conseguisse chegar cada vez mais longe, em especial à minha Tia Fátima, que participou na minha educação e no meu percurso escolar desde sempre; ao meu querido Irmão e à Margarida, pela preocupação e pelo apoio.

E por fim, mas não menos importante, a todos os colegas do ISEP, pela união, pelo afeto, pela honra de ter partilhado dois anos importantes da minha vida ao lado deles.

Acredito que ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar.

RESUMO

As fachadas são um elemento da envolvente que faz a interface entre o ambiente exterior e o interior. Do conjunto das suas características mais relevantes, existe uma, cuja importância tem vindo a aumentar devido à conjuntura ambiental e económica atual: o desempenho energético.

Assim, é importante analisar as características do comportamento térmico dos elementos da fachada, com base na respetiva regulamentação em vigor (REH – D.L. n.º 118/2013 de 20 de Agosto) e analisar o contributo da sua eventual reabilitação para uma melhor qualidade térmica da fachada e por consequente uma melhor qualidade de conforto dos utentes do edifício, não desprezando o aspeto arquitetónico do mesmo.

Esta monografia baseia-se na análise de casos práticos de diferentes soluções construtivas e avaliação das vantagens e desvantagens dos sistemas propostos, conferindo a possibilidade de optar pelo sistema mais eficaz de acordo com as necessidades exigidas.

Assim, e com base no principal objetivo, que é o de melhorar o desempenho térmico das fachadas recorrendo à reabilitação, o enfoque é sobre a redução do consumo energético dos edifícios, nomeadamente através do contributo térmico dos elementos das fachadas para a redução das necessidades energéticas por climatização.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho Energético, Fachada, Reabilitação, REH, Condensações, Permeabilidade ao Vapor.

ABSTRACT

Façades constitute an interface between the outside and the inside environments. Among their most important features, there is one whose relevance has been increasing due to the current environmental and economic interests: energetic performance.

Therefore, it is important to analyze the characteristics of the thermal behavior of the elements of the façade, based on the respective regulations (REH – D.L. n.º 118/2013 August 20) and analyze the impact of their possible rehabilitation for a better thermal quality of the facade and consequently a better quality of comfort of the users of the building, without despising the its architectural aspect.

This monograph is based on the analysis of different building solutions of case studies and on the assessment of the advantages and disadvantages of the proposed systems, giving the possibility of choosing the most efficient system according to the required needs.

So, and considering the main objective, which is to improve the thermal performance of façades using rehabilitation, the focus is on the reduction of energy consumption of buildings, notably through the thermal contribution of the elements of the façades to reduce energy needs by air conditioning.

KEY WORDS: Energy Performance, Façade, Rehabilitation, REH, Condensations, Steam Permeability.

Índice Geral

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	ENQUADRAMENTO	1
1.2.	OBJETIVOS	2
1.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2.	FACHADAS E CONSTITUINTES.....	6
2.1.	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS FACHADAS.....	6
2.2.	FUNÇÕES E CONSTITUINTES DAS FACHADAS.....	9
2.3.	SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	10
2.3.1.	TAIPA	11
2.3.2.	ADOBE.....	12
2.3.3.	BLOCO DE TERRA COMPRIMIDO – BTC	12
2.3.4.	TÉCNICAS TRADICIONAIS – BETÃO ARMADO E ALVENARIA DE TIJOLO.....	13
2.3.5.	BETÃO LEVE DE AGREGADOS DE ARGILA EXPANDIDA.....	14
2.3.6.	LIGHT GAUGE STEEL FRAMING – LSF	15
2.3.7.	BLOCO DE BETÃO CELULAR AUTOCLAVADO.....	16
2.4.	SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	16
2.4.1.	SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS.....	17
3.	CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO.....	25

3.1. TROCAS DE CALOR EM EDIFÍCIOS	26
3.1.1. TROCAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE.....	27
3.2. TROCAS DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR	30
3.3. GANHOS SOLARES ATRAVÉS DOS ENVIDRAÇADOS.....	30
3.4. GANHOS INTERNOS	31
3.5. INÉRCIA TÉRMICA.....	32
4. REABILITAÇÃO TÉRMICA DE FACHADAS.....	33
4.1. APLICAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR.....	34
4.1.1. “VÊTURE”	35
4.1.2. SISTEMA ETICS	36
4.1.2.1. BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA ETICS	37
4.1.2.2. DESVANTAGENS DA APLICAÇÃO DO ETICS	38
4.1.2.3. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA	39
4.1.3. FACHADA VENTILADA.....	40
4.2. APLICAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR.....	42
4.2.1. PAINÉIS ISOLANTES PRÉ-FABRICADOS	44
4.2.2. CONTRA FACHADA EXECUTADA PELO INTERIOR.....	44
4.3. APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO NA CAIXA DE AR.....	45
4.4. CARACTERÍSTICAS DOS ISOLANTES TÉRMICOS	47
4.4.1. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA - λ	47
4.4.2. COMPORTAMENTO EM RELAÇÃO À ÁGUA	48

4.4.3. PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA.....	49
4.4.4. COMPORTAMENTO FACE AOS AGENTES ATMOSFÉRICOS E BIOLÓGICOS.....	49
4.4.5. COMPORTAMENTO FACE AO FOGO	50
4.4.6. COMPORTAMENTO MECÂNICO	50
4.4.7. COMPATIBILIDADE FÍSICA, QUÍMICA, BIOLÓGICA E MECÂNICA.....	50
4.4.8. OUTRAS CARACTERÍSTICAS	51
5. CONDENSAÇÕES INTERNAS.....	52
5.1. MÉTODO DE GLASER	52
5.1.1. CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO DO MÉTODO DE GLASER.....	55
5.1.2. ANÁLISE GRÁFICA DO MÉTODO DE GLASER.....	56
5.2. DIMINUIÇÃO DOS RISCOS DE OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES.....	57
5.3. NORMA EN ISO 13788	58
5.3.1. PRINCÍPIO	58
5.4. PROGRAMA DE CÁLCULO	59
6. REGULAMENTAÇÃO	61
6.1. NOVO ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	62
6.2. OBJETIVO DO REH	63
6.3. ÂMBITO DE APLICAÇÃO DO REH.....	63
6.4. DADOS CLIMÁTICOS.....	64
6.5. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	65
7. CASOS PRÁTICOS.....	68

7.1. PAREDE DUPLA ALVENARIA TIJOLO FURADO 15 + 11 CM ESPESSURA.....	72
7.1.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
7.2. PAREDE DUPLA ALVENARIA TIJOLO MACIÇO 11 CM ESPESSURA + TIJOLO FURADO 11 CM ESPESSURA	77
7.2.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS	82
7.3. PAREDE DUPLA ALVENARIA PEDRA GRANÍTICA 30 CM ESPESSURA + TIJOLO FURADO 11 CM ESPESSURA	82
7.3.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS	87
7.4. PAREDE SIMPLES DE ALVENARIA DE PEDRA GRANÍTICA 40 CM ESPESSURA.....	87
7.4.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
8. CASOS PRÁTICOS – PROGRAMA <i>CONDENSA 13788</i>.....	95
8.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS	96
9. CONCLUSÃO	97
9.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
9.2. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	98
9.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	104
10. BIBLIOGRAFIA	105
ANEXOS.....	A

Índice Figuras

Figura 1 – Evolução das paredes exteriores em Portugal [5].....	8
Figura 2 – Construção em taipa [22]	11
Figura 3 – Construção em adobe [23]	12
Figura 4 – Construção em bloco de terra comprimido [24]	13
Figura 5 – Construção em betão armado e alvenaria de tijolo [25]	14
Figura 6 – Construção em betão leve de agregados de argila expandida [26]	15
Figura 7 – Construção em light gauge steel framing [27]	15
Figura 8 – Construção em bloco de betão celular autoclavado [28].....	16
Figura 9 – Parede dupla de tijolo furado.....	18
Figura 10 – Parede dupla tijolo furado com panos iguais	19
Figura 11 – Parede dupla de tijolo maciço pelo exterior e tijolo furado pelo interior	20
Figura 12 – Parede dupla de tijolo maciço pelo exterior e betão armado pelo interior.....	21
Figura 13 – Parede dupla de tijolo maciço pelo exterior e bloco de betão pelo interior.....	22
Figura 14 – Parede dupla de alvenaria de pedra pelo exterior e tijolo furado pelo interior ...	23
Figura 15 – Parede de alvenaria de pedra	24
Figura 16 – Balanço térmico de um edifício [1].....	26
Figura 17 – Ponte Térmica devido à transição entre diferentes materiais [2].....	28
Figura 18 – Ponte Térmica devido a alterações de espessura [2].....	28
Figura 19 – Ponte Térmica devido à ligação de paredes [2]	28
Figura 20 – Ponte Térmica devido à ligação da laje com a fachada [2].....	29
Figura 21 – Aplicação do isolamento tipo “Vêture” [29].....	35
Figura 22 – Aplicação sistema ETICS [30]	36

Figura 23 – Pormenor colocação da rede fibra de vidro [31]	37
Figura 24 - Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [4].....	37
Figura 25 – Gradientes de temperaturas nas paredes com isolamento na caixa de ar e isolamento pelo exterior, respetivamente [4]	38
Figura 26 – Esquema do sistema de Fachada Ventilada	41
Figura 27 – Moradia com pedra pelo exterior [33]	43
Figura 28 – Execução de contra fachada pelo interior [20].....	44
Figura 29 – Exemplo de aplicação de isolantes injetados [12]	45
Figura 30 – Variação da condutibilidade térmica com o teor de humidade para vários materiais de isolamento térmico [12].....	47
Figura 31 – Condutibilidade térmica do poliestireno expandido em função da massa volúmica medida à temperatura de 10°C [12]	48
Figura 32 – Diagrama psicrométrico [7].....	53
Figura 33 – Representação da 1.ª e 2.ª fases do método Glaser [7]	56
Figura 34 - Representação da 3.ª e 4.ª fase do método Glaser [7]	57
Figura 35 – Importância das propriedades e posicionamento das camadas nas condensações internas [7]	58
Figura 36 – Zonas climáticas de inverno pelo RCCTE (esq.) e REH (dir.) [13]	64
Figura 37 – Zonas climáticas de verão pelo RCCTE (esq.) e REH (dir.) [13]	64
Figura 38 – Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – sem isolamento..	74
Figura 39 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – com isolamento pelo exterior	74
Figura 40 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – com isolamento intermédio.....	75

Figura 41 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – com isolamento pelo interior	75
Figura 42 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE2 – sem isolamento ..	79
Figura 43 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE2 – com isolamento intermédio.....	79
Figura 44 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE2 – com isolamento pelo interior	80
Figura 45 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – Sem isolamento..	84
Figura 46 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – Com isolamento pelo exterior.....	84
Figura 47 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – com isolamento intermédio.....	85
Figura 48 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – com isolamento pelo interior	85
Figura 49 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE4 – sem isolamento ..	89
Figura 50 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE4 – só com isolamento gesso cartonado.....	90
Figura 51 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE4 – com isolamento interior.....	90

Índice Quadros

Quadro 1 – Soluções de reforço de isolamento térmico	46
Quadro 2 – Valores convencionais da condutibilidade térmica [15]	48
Quadro 3 - Valores convencionais de permeabilidade ao vapor [12]	49
Quadro 4 – Valores das resistências térmicas superficiais interior e exterior [21]	65
Quadro 5 – Valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica consoante a zona climática [21]	66
Quadro 6 – Coeficientes de transmissão térmica de referência de elementos opacos [13,14]...	67
Quadro 7 – Valores de referência e valores máximos do coeficiente de transmissão térmica .	69
Quadro 8 – Características dos elementos da parede dupla alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm espessura	73
Quadro 9 – Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)	73
Quadro 10 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm (verificação da existência de condensações internas)	76
Quadro 11 - Características dos elementos da parede dupla alvenaria tijolo maciço 11 cm espessura + tijolo furado 11 cm espessura	78
Quadro 12 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo maciço 11 + tijolo furado 11 (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)	78
Quadro 13 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo maciço 11 cm espessura + tijolo furado 11 cm espessura (verificação da existência de condensações internas)	81
Quadro 14 - Características dos elementos da parede dupla alvenaria pedra granítica 30 cm + tijolo furado 11 cm	83

Quadro 15 - Resultados para a parede dupla de alvenaria pedra granítica 30 cm + tijolo furado 11 cm espessura (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais).....	84
Quadro 16 - Resultados para a parede dupla de alvenaria pedra 30 cm + tijolo furado 11 cm (verificação da existência de condensações internas).....	87
Quadro 17 - Características dos elementos da parede simples alvenaria pedra granítica de 40 cm espessura	88
Quadro 18 - Resultados para a parede simples de alvenaria pedra granítica de 40 cm espessura (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)	89
Quadro 19 - Resultados para a parede simples de alvenaria pedra 40 cm de espessura (verificação da existência de condensações internas).....	91
Quadro 20 - Características dos elementos da parede dupla alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm espessura	93
Quadro 21 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm espessura (verificação da existência de condensações internas quando aplicada tinta de borracha no exterior)	94
Quadro 22 - Resumo dos resultados do programa <i>Condensa 13788</i>	96
Quadro 23 - Quadro síntese dos resultados obtidos relativamente à ocorrência de condensações internas nas paredes duplas	99
Quadro 24 - Quadro síntese dos resultados obtidos relativamente à ocorrência de condensações internas na parede simples.....	99

Lista de Siglas

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – Decreto Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Decreto Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

PVC – Policloreto de Vinil

GEE – Gases de Efeito de Estufa

BTC – Bloco Terra Comprimido

LGSF – Light Gauge Steel Framing

OSB – Oriented Strand Board

RJRU – Regime Jurídico da Reabilitação Urbana

EPS – Poliestireno Expandido

PUR – Espuma de Poliuretano

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios – Decreto Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Em 2011 subsistiam no parque habitacional português cerca de 1 milhão de edifícios que careciam de intervenção devido ao seu estado de conservação. De entre este universo, 156 312 edifícios tinham necessidade de grandes reparações ou estavam muito degradados, constituindo portanto um objeto privilegiado para intervenções de reabilitação.

Em termos de distribuição regional, as cinco regiões em que existia um maior número de edifícios com necessidade de grandes reparações ou muito degradados eram o Grande Porto, o Tâmega, a Grande Lisboa, o Douro e o Algarve. Na realidade, cerca de 1/3 (32,7%) dos edifícios do País com necessidade de grandes reparações ou muito degradados estavam situados nestas cinco regiões. [8]

Com estes dados, prevê-se uma necessidade de requalificação e preservação do parque habitacional existente, de modo a evitar um aumento da degradação física e desconforto dos utentes, adotando níveis de conforto e salubridade mínimos.

O nível de degradação existente é devido a vários fatores, dos quais se destacam a falta de intervenções regulares de manutenção, a baixa qualidade dos materiais, os deficientes processos e sistemas construtivos empregues nos edifícios e, sobretudo, a falta de conhecimento da regulamentação térmica de edifícios na época da sua construção ou inexistência da mesma.

Mais de metade (58,1%) dos edifícios com necessidade de grandes reparações ou muito degradados tinham sido construídos até 1945. Nos edifícios posteriores a 1990, o número de edifícios com necessidade de grandes reparações ou muito degradados era quase residual. [8]

Portanto, constata-se que as construções anteriores à entrada em vigor do RCCTE são insatisfatórias do ponto de vista do seu contributo para o grau de conforto térmico interior, pelo que estão associadas a um excessivo consumo energético para climatização interior, o que traduz um custo mensal elevado.

A envolvente de um edifício (tal como paredes exteriores) desempenha um papel fundamental na eficiência energética do mesmo.

A reabilitação térmica de um edifício é então uma abordagem inovadora e promissora para a correção de situações de inadequada funcionalidade, proporcionando a melhoria das condições de conforto térmico e de habitabilidade dos seus ocupantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento e ventilação.

Esta medida de reabilitação irá contribuir futuramente para o objetivo estratégico de redução das necessidades energéticas de Portugal e, assim, o cumprimento das metas definidas com a assinatura do Protocolo de Quioto e de acordo com o REH.

1.2. Objetivos

Os objetivos específicos para a concretização desta monografia abrangem:

- I. Pesquisar os desafios da reabilitação na secção das grandes intervenções e as suas especificidades face ao desempenho energético, quer obrigatório quer desejável (conforto dos utentes);
- II. Pesquisar os componentes da fachada e o seu papel na dimensão energética;
- III. Analisar as possibilidades de solução para reabilitação da fachada que se podem efetuar;
- IV. Analisar as características das fachadas em estudo;

V. Identificar e desenvolver as soluções para a reabilitação da fachada e respetivo desempenho;

VI. Avaliar os resultados provenientes da reabilitação;

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está elaborada de acordo com a seguinte estruturação:

1. Introdução

O 1.º Capítulo da dissertação destina-se ao enquadramento do tema e sua importância no contexto atual. Traça ainda os objetivos a alcançar e descreve o modo como a dissertação está elaborada.

2. Fachadas e Constituintes

O 2.º Capítulo refere a evolução histórica das fachadas, sobretudo em Portugal, as funções e constituintes das fachadas, enumera alguns sistemas construtivos, tais como a taipa, o adobe e soluções construtivas tradicionais de paredes vulgarmente usadas antes dos anos 90.

3. Caracterização do Comportamento Térmico

O 3.º Capítulo faz referência às trocas de calor dos edifícios, com realce para as trocas através da envolvente, dos envidraçados e por renovação de ar. Para além disso, faz ainda referência às pontes térmicas e alguns tipos de situações em que elas poderão ocorrer.

4. Reabilitação Térmica de Fachadas

O 4.º Capítulo destina-se aos três tipos de reabilitação existentes que poderão ser aplicados: reabilitação pelo exterior da fachada, pelo interior da fachada e na caixa de ar (neste caso, passa a ser isolamento intermédio, porque a caixa de ar deixará de existir). É neste capítulo que se descrevem as várias soluções, tais como ETICS e “Vêture”, no seu modo de aplicação, vantagens e inconvenientes.

5. Condensações Internas

O 5.º Capítulo descreve, de um modo sucinto, como podem ocorrer as condensações e refere o Método de *Glaser*, que é um método de cálculo para determinar a existência de condensações internas no elemento a analisar, neste caso, as paredes exteriores.

6. Regulamentação

O 6.º Capítulo refere o novo enquadramento legislativo onde se pode verificar que o regulamento em vigor para a térmica é o REH.

É, já de acordo com o novo regulamento, feita referência às novas zonas climáticas no inverno e no verão e identificam-se os valores de referência e valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica.

7. Casos Práticos

O 7.º Capítulo trata de quatro casos práticos, referentes a quatro tipos de paredes: o primeiro é uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado 15 centímetros mais 11 centímetros; o segundo é uma parede dupla de alvenaria de tijolo maciço 11 centímetros mais tijolo furado de 11 centímetros; o terceiro é uma parede dupla de alvenaria de pedra granítica de 30 centímetros mais tijolo furado de 11 centímetros; e o quarto é uma parede

simples de pedra granítica de 40 centímetros de espessura. Os casos práticos consistem em avaliar a situação da existência de condensações superficiais ou internas nas paredes exteriores citadas e verificar o coeficiente de transmissão térmica, estando perante quatro soluções distintas: sem isolamento, com isolamento pelo exterior, com isolamento intermédio e com isolamento pelo interior.

8. Casos Práticos – Programa *Condensa 13788*

No 8.º Capítulo são analisados os mesmos quatro casos práticos através do programa *Condensa 13788*, sendo feita uma apresentação do mesmo e os estudos práticos em si.

9. Conclusão

O 9.º Capítulo faz referência às conclusões finais, em que é feita uma síntese crítica dos resultados, referindo desenvolvimentos futuros da investigação na área da térmica.

10. Bibliografia

Por fim, o 9.º Capítulo, que enumera todas as fontes utilizadas para a realização desta dissertação.

Em anexo, encontram-se os gráficos psicrométricos inerentes a todo o processo de cálculo realizado no capítulo 7 e também os resultados referentes às simulações efetuadas no programa de cálculo automático, *Condensa 13788*.

2. Fachadas e Constituintes

2.1. Evolução Histórica das Fachadas

As fachadas são as paredes exteriores de um edifício que, juntamente com a cobertura e com o pavimento compõem a envolvente de um edifício. A envolvente atua como barreira entre o ambiente exterior e o interior, sendo uma das principais funções a proteção dos ocupantes do edifício contra as condições climáticas adversas. Para além disso, a envolvente protege os ocupantes de outros inconvenientes, tais como o ruído e possíveis intrusos. Portanto, a envolvente tem a função de proporcionar condições de habitabilidade, conforto, salubridade e bem-estar no interior do edifício e, como elemento integrante da mesma, a fachada deve contribuir para o mesmo fim. [21]

O método de construção dos edifícios evoluiu de forma diferente, variando de região para região, dependendo essencialmente das condições de terreno, da matéria-prima disponível no local e das condições climáticas. Dependia também do tipo de vida do Homem: no caso dos povos sedentários, a construção tinha características portantes e tinha características não portantes, no caso dos povos nómadas. [21]

Inicialmente, as fachadas eram estruturas portantes, compostas por paredes maciças, que suportavam a carga imposta pela cobertura e conservavam o calor no espaço interior.

Para ventilar e iluminar o interior, eram abertos pequenos vãos nessas paredes. Todavia, essas aberturas resultavam numa perda térmica significativa, possibilitando, ainda, a entrada de chuva ou mesmo intrusos. A solução seria a utilização de vidro, que continuava a permitir a iluminação natural do interior. [21]

No século XV, começaram a ser utilizadas janelas fixas em casas nobres e em habitações de classes altas. As janelas eram relativamente pequenas ou tinham envidraçados muito subdivididos, devido às limitações do seu processo de fabrico.

Até ao século XIX, os vidros tinham um custo elevado, pelo que não eram acessíveis a qualquer pessoa. Foi apenas na segunda metade do século XIX que, à medida que a arquitetura se libertava das limitações impostas pelas paredes portantes e se verificavam avanços no desenvolvimento da produção do vidro, se tornou mais vulgar a sua utilização em janelas com áreas envidraçadas de maior dimensão. Este facto veio incrementar mais tarde a necessidade de utilizar sistemas de proteção solar, como palas, persianas e estores. A Revolução Industrial proporcionou um grande impulso na evolução da indústria da construção, apresentando novos materiais e métodos de produção, onde passaram a ser mais utilizados o ferro e o vidro, sobretudo nas fachadas de edifícios de serviços. [21]

À medida que a fachada se tornava cada vez mais independente da função estrutural, também devido ao aparecimento das estruturas em betão armado, observou-se um incremento da dimensão dos vãos envidraçados, derivando em sistemas de “fachada cortina” – fachada totalmente envidraçada. [21]

A repentina subida dos custos energéticos e a tomada de consciência dos problemas ambientais associados à produção de energia a partir de combustíveis fósseis viria a alterar a tendência que se vinha sentindo na arquitetura desde a Revolução Industrial, que era descontextualizada do clima. Desta forma, sentiu-se uma necessidade crescente de equacionar as implicações energéticas da pele dos edifícios e a partir de então surgem várias inovações para a melhoria da sua eficiência energética. [21]

Desde meados do século XX, o fabrico de caixilharias não só desenvolveu vários tipos de vidro como também novos materiais, que melhoraram o seu desempenho e

funcionamento: foram desenvolvidos perfis, selantes, ferragens e vidro duplo, enquanto a madeira e o ferro foram substituídos pelo PVC e pelo alumínio.

Paralelamente, e em Portugal, as técnicas construtivas das paredes exteriores também sofreram uma evolução: as paredes que eram em pano simples de elevada espessura em alvenaria de pedra ou tijolo maciço, até aos anos 40 do século XX, passaram a ser constituídas por panos duplos de alvenaria de tijolo vazado com caixa-de-ar entre panos (década de 60/70) e, mais tarde, passaram a ter a sua caixa-de-ar total ou parcialmente preenchida por materiais isolantes. A última inovação, que apresenta um bom desempenho térmico, é a aplicação do material isolante pelo exterior, geralmente em paredes de alvenaria de tijolo ou paredes de betão. [21]

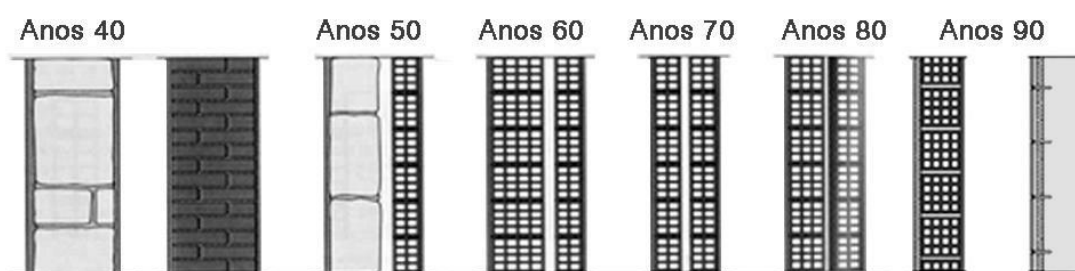


Figura 1 – Evolução das paredes exteriores em Portugal [5]

A evolução das soluções construtivas de paredes exteriores é justificada pela constante procura de resposta às crescentes expectativas de conforto no interior das habitações, bem como às imposições legais, que foram surgindo através da regulamentação sobre a qualidade térmica dos edifícios, a partir dos anos 90. [5]

No final do século XX, no relatório de Brundtland (1987), foi definido pela primeira vez o conceito de “Desenvolvimento Sustentável” – desenvolvimento que dá resposta às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras darem

resposta às delas. Voltaram a ser estudados, de uma forma mais aprofundada, assuntos como a relação entre a arquitetura, o clima e os ocupantes (arquitetura bioclimática).

A procura pela eficiência energética tem levado ao desenvolvimento de sistemas de fachadas dinâmicos, responsáveis pelo equilíbrio entre as necessidades energéticas do interior dos edifícios e as condições do seu ambiente envolvente. [21]

2.2. Funções e Constituintes das Fachadas

A fachada é, tradicionalmente, constituída por elementos verticais opacos – as paredes exteriores – e por elementos verticais não opacos – os vãos envidraçados. Contudo, existem fachadas compostas apenas por envidraçados, designadas por fachadas cortina, e fachadas que não contêm vãos envidraçados, como é o caso das fachadas cegas.

A fachada tem interferência tanto no exterior como no interior do edifício:

- No interior do edifício, a fachada desempenha um papel determinante no conforto dos seus ocupantes, não só em termos térmicos mas também em termos acústicos. O mau desempenho da fachada, através da incapacidade de proporcionar conforto, resulta no aumento das necessidades energéticas do edifício, o que pode levar a um consumo excessivo de energia para a climatização do ambiente interior. Por exemplo, se a fachada de um edifício localizado num clima quente não tiver proteção solar adequada, o conforto térmico será afetado devido ao sobreaquecimento do ambiente interior. Uma das medidas mais utilizadas em todo o mundo é a utilização de aparelhos de ar condicionado para diminuir a temperatura interior, o que implica um aumento do consumo energético, tendo como consequência um impacto negativo tanto na sustentabilidade económica como na ambiental. Este é um exemplo que demonstra que as fachadas são determinantes para o conforto dos ocupantes no espaço interior e também para a

eficiência energética do edifício, sendo que cada elemento das fachadas contribui de forma diferente. [21]

- No exterior do edifício, a fachada pode ter influência ao nível do aspeto visual, mas também ao nível ambiental. Ou seja, o insuficiente desempenho energético da fachada pode contribuir para um consumo de energia excessivo, o que interfere em termos ambientais ao nível do consumo de recursos esgotáveis e das emissões GEE. Relativamente ao aspeto visual da fachada, este tem uma grande importância, pois funciona como “capa” do edifício, transmitindo uma primeira impressão positiva ou negativa. Ao conceber a fachada, o arquiteto deve ter em consideração o contexto envolvente, para que ela possa interagir não só com os utilizadores do edifício mas também com os peões que circulam à sua volta. O seu aspeto exterior deve estabelecer uma relação com a envolvente, quer seja no sentido de se identificar com este, quer no de se destacar, funcionando como meio de expressão de um conceito explorado pelo arquiteto, o qual deve tirar partido da potencialidade comunicante do exterior da fachada. [21]

2.3. Sistemas Construtivos

O sistema construtivo pode ser descrito como a combinação de materiais utilizados na materialização dos elementos de construção de um edifício. A escolha desses materiais assume uma grande importância, dado que ela irá ter implicações aos níveis estrutural, térmico, acústico, económico e ambiental.

Das aplicações existentes, destacam-se seis sistemas construtivos que, pelas suas características, merecem uma breve referência: sistemas construtivos em terra; sistemas em alvenaria de tijolo e em betão armado; os sistemas compostos por betão leve de

agregados de argila expandida; sistemas em estruturas metálicas leves e sistemas em betão celular autoclavado.

Portugal é um dos países da Europa com um dos patrimónios arquitetónicos em terra crua mais rico e vasto, nomeadamente no Alentejo, no Algarve, em Aveiro, em Trás-os-Montes, em Mértola e em Castelo de Moura. As principais técnicas construtivas em terra são: a taipa, o adobe e o “BTC”.

2.3.1. Taipa

A taipa é uma técnica que utiliza terra húmida compactada para a construção de paredes com espessura considerável, utilizando uma mistura de vários agregados. A terra é compactada entre dois painéis de cofragem, que podem ser de madeira ou, mais recentemente, de metal. Estas paredes apresentam elevada resistência à compressão, bom isolamento sonoro e elevada inércia térmica. No entanto, em paredes de espessura delgada, não dispensa a colocação de revestimentos isolantes. [19]



Figura 2 – Construção em taipa [22]

2.3.2. Adobe

O adobe consiste numa mistura de terra e água moldados em blocos com as dimensões pretendidas, ficando esses blocos a secar ao ar livre. Com o propósito de melhorar as suas características e estabilização da terra podem ser adicionados certos aditivos como a cal, o cimento, o betume ou até mesmo fibras vegetais. O modo de construção dos blocos é semelhante ao da alvenaria de tijolos. A resistência à compressão destas paredes não é considerável, já a inércia térmica é elevada devido à densidade deste material; no entanto, a condutibilidade térmica dos blocos é elevada devido à sua densidade e fraca porosidade (colocar isolantes térmicos). [19]



Figura 3 – Construção em adobe [23]

2.3.3. Bloco de Terra Comprimido – BTC

Foi a partir da evolução do adobe que se produziu o BTC, sendo as suas características semelhantes às do adobe. A principal diferença entre os dois é que o BTC sofre um

processo de compressão através de uma prensa, conferindo-lhe maior densidade e, por conseguinte, maior resistência à compressão.

A principal desvantagem do uso de terra como principal material é esta ser sensível à humidade. Caso não sejam tomadas medidas preventivas no sentido de proteger a terra da humidade, esta degrada-se rapidamente diminuindo a sua durabilidade. Desta forma, estas técnicas foram sendo substituídas por outras como o betão armado [19].



Figura 4 – Construção em bloco de terra comprimido [24]

2.3.4. Técnicas Tradicionais – Betão Armado e Alvenaria de Tijolo

As técnicas construtivas mais utilizadas atualmente são as que utilizam o betão armado e a alvenaria de tijolo.

Estas duas técnicas apresentam como principais vantagens a elevada resistência à compressão, boa resistência às adversidades climáticas e, quando bem utilizadas, constituem boas soluções do ponto de vista do isolamento térmico e sonoro [19].



Figura 5 – Construção em betão armado e alvenaria de tijolo [25]

2.3.5. Betão Leve de Agregados de Argila Expandida

A argila expandida resulta de um processo de introdução da argila em fornos rotativos de temperaturas elevadas com a finalidade de se obter a sua expansão controlada. Deste processo resulta a formação de grânulos, contendo estes no seu interior micro poros fechados, que por sua vez contêm ar conferindo assim ao material leveza e também propriedades de isolamento térmico. Por essa razão, a argila expandida pode ser utilizada como isolamento térmico. No entanto, não é uma solução que por si só resulte num bom isolante térmico.

Este betão pode ser utilizado como alvenaria estrutural, podendo ser pré-fabricado, solução que reduz tempos de execução, custos de materiais e cofragens, de montagem simples, não necessitando de mão-de-obra especializada, levando a uma redução de custos. Resulta assim numa parede leve, resistente e com bom desempenho térmico. Por utilizar materiais inertes, este material apresenta um bom grau de incombustibilidade.

Permite ainda a redução das secções transversais dos elementos estruturais e a redução do peso dos materiais a transportar, aumento assim a produtividade [19].



Figura 6 – Construção em betão leve de agregados de argila expandida [26]

2.3.6. Light Gauge Steel Framing – LSF

É um sistema construtivo que é baseado em estruturas metálicas leves. As necessidades que o setor da construção tem sentido com o objetivo de tornar mais sustentável a sua atividade fizeram com que se criassem alternativas à tradicional construção de betão.

A principal vantagem deste sistema é a sua resistência, permitindo a criação de elementos estruturais de menor secção. [19]

Um edifício com estrutura em LSF é completamente isolada do exterior por placas de poliestireno expandido, OSB, lã de rocha e gesso cartonado.



Figura 7 – Construção em light gauge steel framing [27]

2.3.7. Bloco de Betão Celular Autoclavado

Este é um betão mais leve mas que apresenta boa resistência mecânica e é razoável como isolante térmico. É um material composto por areia, cal, cimento e água. Na fase final do fabrico é adicionado pó de alumínio que atua como gerador de bolhas de hidrogénio e que são responsáveis pela formação da estrutura celular deste material. A sua cura é feita em autoclave sob a ação de vapor de água em condições de pressão e temperatura controladas. O processo de construção é semelhante ao das alvenarias de tijolos.

A resistência à compressão dos componentes deste betão permite com segurança a construção de paredes resistentes até três pisos de altura. A sua inércia térmica é baixa, assim como a sua condutibilidade térmica, permitindo assim obter soluções de isolamento térmico mais económicas [19].



Figura 8 – Construção em bloco de betão celular autoclavado [28]

2.4. Soluções Construtivas

Existem inúmeras opções ao nível das soluções construtivas, podendo ser divididas em soluções construtivas leves e soluções construtivas pesadas.

As soluções construtivas leves incorporam materiais como madeira, perfis metálicos leves, painéis de gesso cartonado, painéis de fibrocimento, painéis de aglomerado de madeira e cimento, painéis de OSB, entre outros.

As soluções construtivas pesadas utilizam materiais pesados, tais como tijolos, blocos de betão, betão, revestimentos cerâmicos, pedra, terra, entre outros.

Ambas as soluções têm vantagens e desvantagens, não sendo verdadeiro afirmar qual a melhor, sendo a escolha variável, conforme a finalidade da parede.

Comparando estes dois tipos de soluções podemos afirmar que as soluções construtivas leves:

- quando utilizadas em climas com baixa amplitude térmica diurna, podem promover a diminuição do consumo global de energia durante o ciclo de vida do edifício;
- são adequadas a climas quentes com baixas amplitudes térmicas diurnas;
- têm geralmente um impacto ambiental mais reduzido.

Por outro lado, as soluções construtivas pesadas:

- quando utilizadas em conjugação com o desenho passivo e com um bom isolamento térmico, o comportamento térmico é otimizado, sendo reduzida a energia necessária às operações de aquecimento/arrefecimento;
- são adequadas a climas com grandes amplitudes térmicas diurnas;
- têm elevado impacte ambiental, principalmente devido à produção de grande quantidade de resíduos, utilização de equipamentos pesados, entre outros.

2.4.1. Soluções Construtivas Tradicionais

Parede dupla em alvenaria de tijolo furado

A primeira solução construtiva tradicional abordada nesta dissertação é uma solução que foi fortemente usada a partir dos anos 80.

Esta solução é composta por dois panos de alvenaria de tijolo furado, tendo o pano exterior 15 centímetros e o pano interior 11 centímetros de espessura. Os panos encontram-se separados por uma caixa de ar de 4 centímetros de espessura.

O paramento exterior está rebocado com 4 centímetros de espessura e o paramento interior encontra-se com estuque tradicional de 2 centímetros e com acabamento pintura em ambos os paramentos.

A figura 9 representa um corte esquemático da presente solução construtiva:

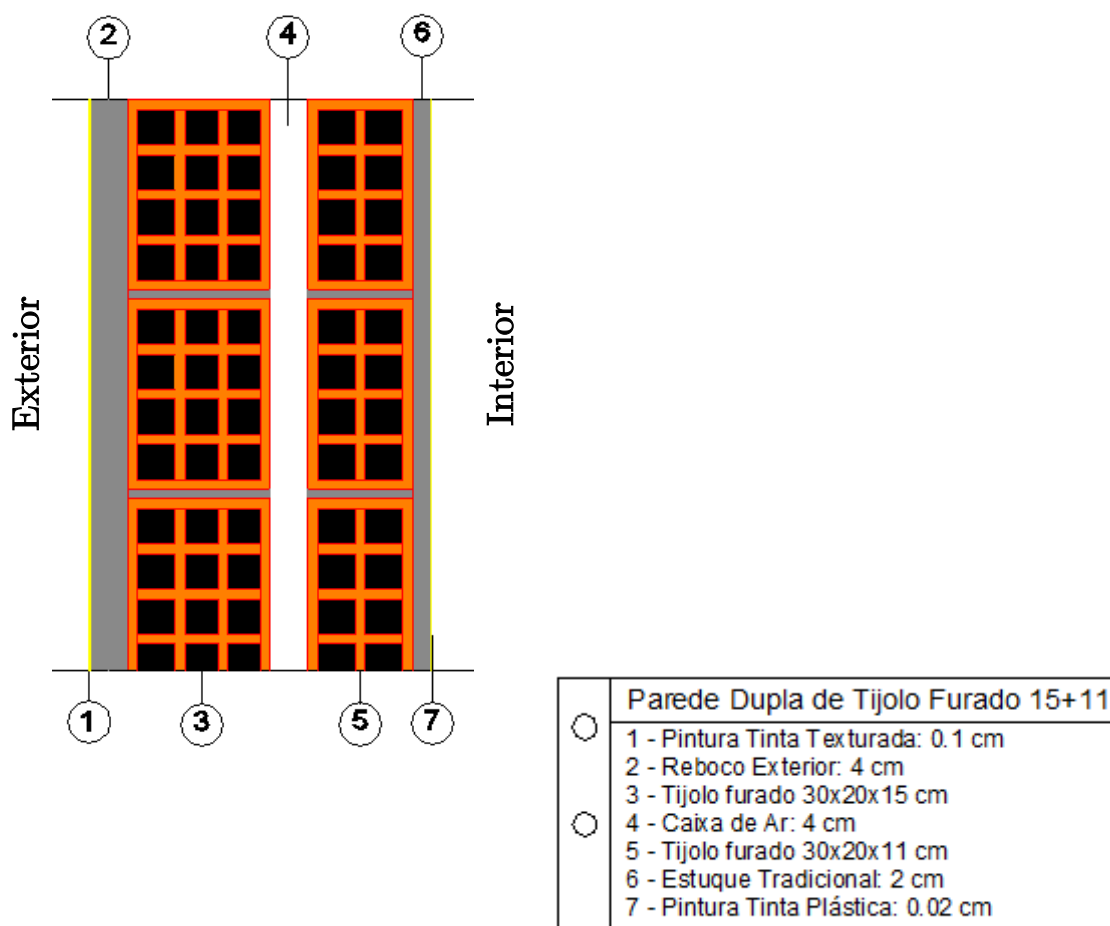


Figura 9 – Parede dupla de tijolo furado

Parede dupla com panos iguais em alvenaria de tijolo furado

Uma outra solução construtiva que foi também muito aplicada a partir dos anos 80 e que ainda atualmente é aplicada é a utilização dos mesmos materiais que na solução anterior, apenas com a diferença de que em ambos os panos de alvenaria têm igual espessura, 11 centímetros.

A figura 10 representa um corte esquemático da presente solução construtiva:

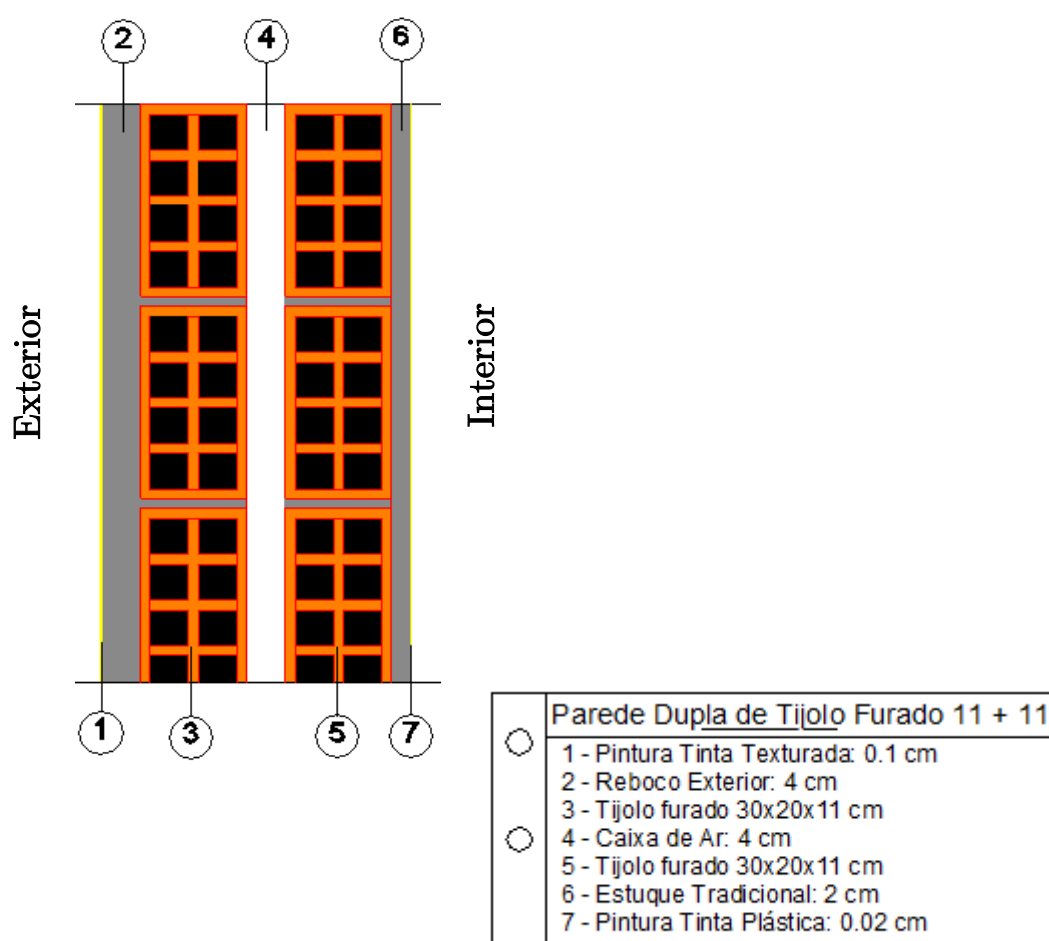


Figura 10 – Parede dupla tijolo furado com panos iguais

Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço e pano interior em alvenaria de tijolo furado

A solução seguinte é constituída por um pano de tijolo maciço de 11 centímetros de espessura (vulgarmente designado por “tijolo de burro”) colocado pelo exterior e por um pano interior de tijolo furado de 11 centímetros de espessura. Estão separados por uma caixa de ar de 4 centímetros de espessura. O paramento interior é revestido por estuque tradicional de 2 centímetros de espessura e acabamento a pintura, tendo o paramento exterior como revestimento final o tijolo maciço já referido.

A figura 11 representa um corte esquemático da presente solução construtiva:

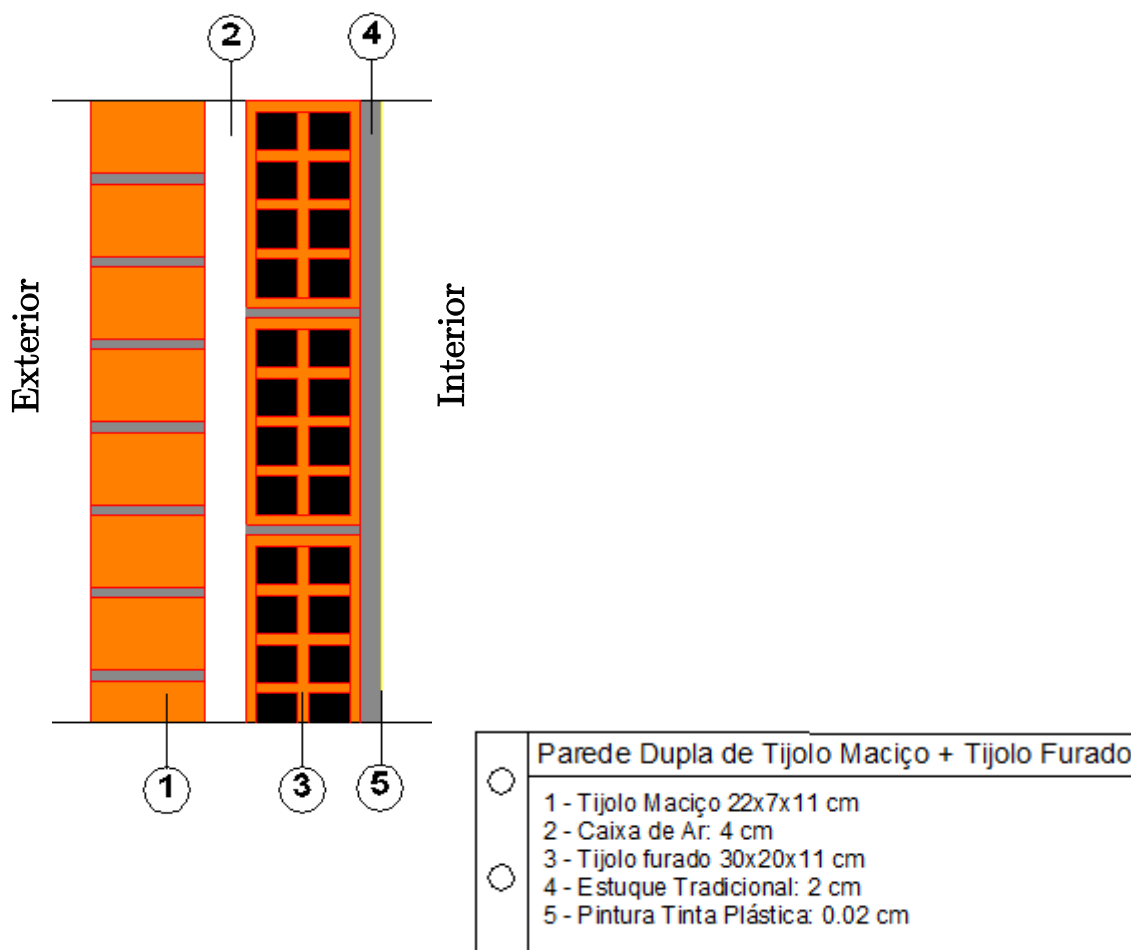


Figura 11 – Parede dupla de tijolo maciço pelo exterior e tijolo furado pelo interior

Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço e pano interior em betão armado

Outra variante da solução tradicional, talvez menos utilizada, consiste em colocar no pano exterior alvenaria de tijolo maciço de 11 centímetros de espessura, que fará o acabamento final exterior, e um pano interior em betão armado de 15 centímetros de espessura. A caixa de ar tem 4 centímetros de espessura. No paramento interior será colocado estuque tradicional com 2 centímetros de espessura e acabamento a pintura.

A figura 12 representa um corte esquemático da presente solução construtiva:

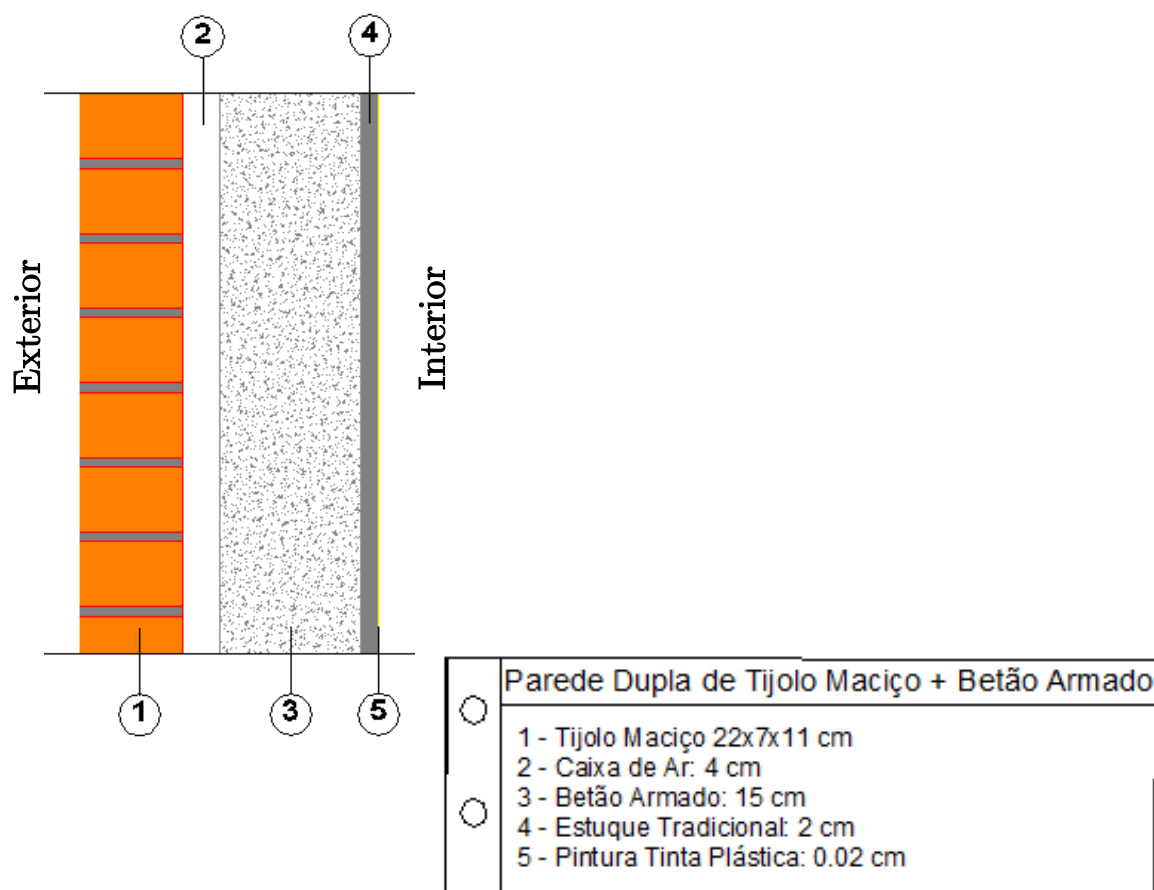


Figura 12 – Parede dupla de tijolo maciço pelo exterior e betão armado pelo interior

Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço com face à vista e pano interior em alvenaria de blocos de betão celular autoclavado.

Outra solução construtiva semelhante à anterior, com uso corrente entre os anos 85 a 90, mantém o pano exterior em tijolo maciço de 11 centímetros, mas altera o pano interior, sendo este constituído por blocos de betão celular autoclavado de 17,5 centímetros de espessura. A caixa de ar tem 4 centímetros de espessura. No pano interior é aplicam-se 2 centímetros de espessura de estuque tradicional e acabamento a pintura.

Está representado na figura 13 um corte esquemático da presente solução construtiva:

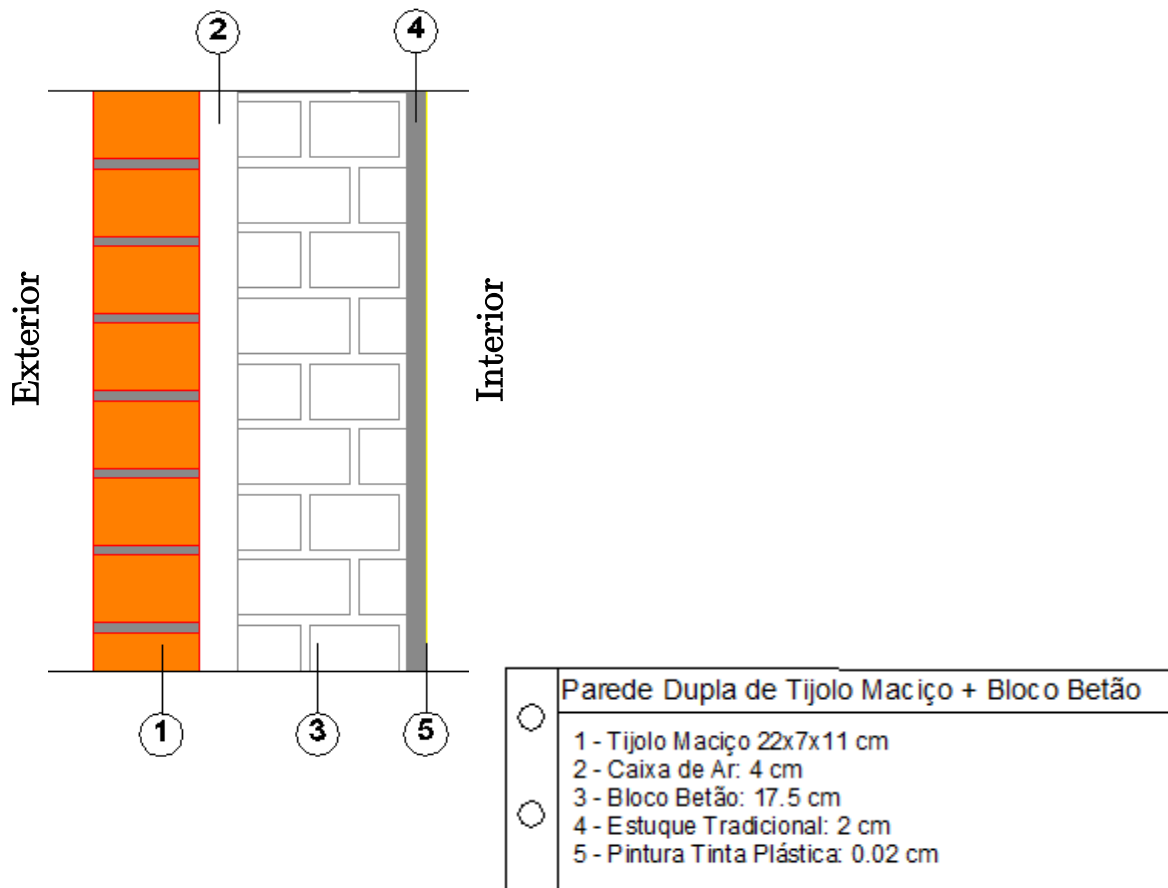


Figura 13 – Parede dupla de tijolo maciço pelo exterior e bloco de betão pelo interior

Parede dupla com pano exterior em alvenaria de pedra e pano interior em alvenaria de tijolo furado

Uma solução construtiva de espessura total mais elevada pode ser constituída por um pano exterior em alvenaria de pedra granítica de 30 centímetros de espessura e por um pano interior em tijolo furado com 11 centímetros de espessura. A caixa de ar com 4 centímetros espessura. O paramento interior está revestido a estuque tradicional com 2 centímetros de espessura para execução de acabamento a pintura.

Está representado na figura 14 um corte esquemático da presente solução construtiva:

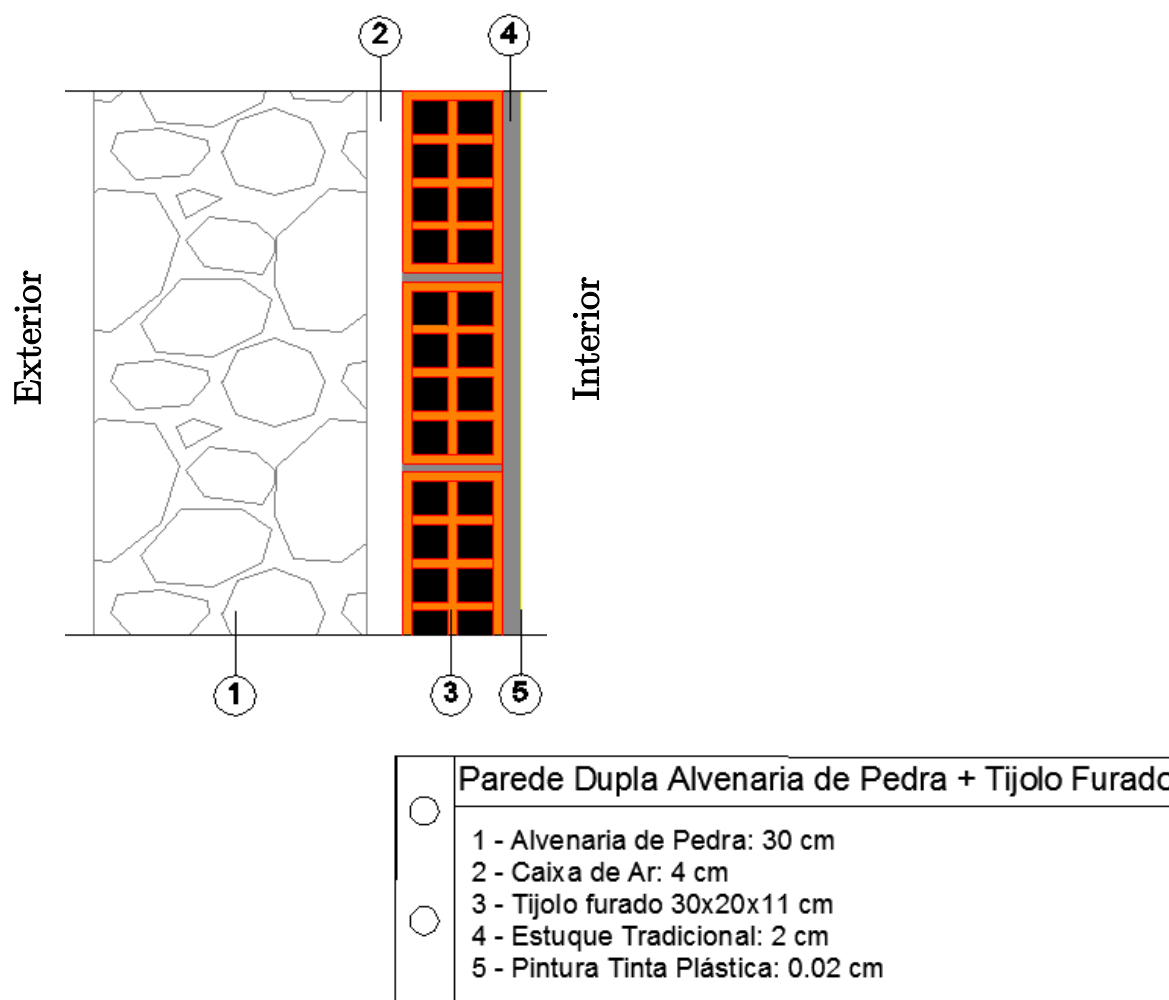


Figura 14 – Parede dupla de alvenaria de pedra pelo exterior e tijolo furado pelo interior

Parede em alvenaria de pedra aparelhada

Por fim, outra solução construtiva, vulgarmente utilizada entre 1900 e 1950, é composta por um pano de alvenaria de pedra, tendo 40 centímetros de espessura. Na face interior do paramento, é aplicado estuque tradicional com 2 centímetros de espessura e acabamento a pintura. Esta parede apresenta um único pano, sendo uma parede simples.

Está representado na figura 15 um corte esquemático da presente solução construtiva:

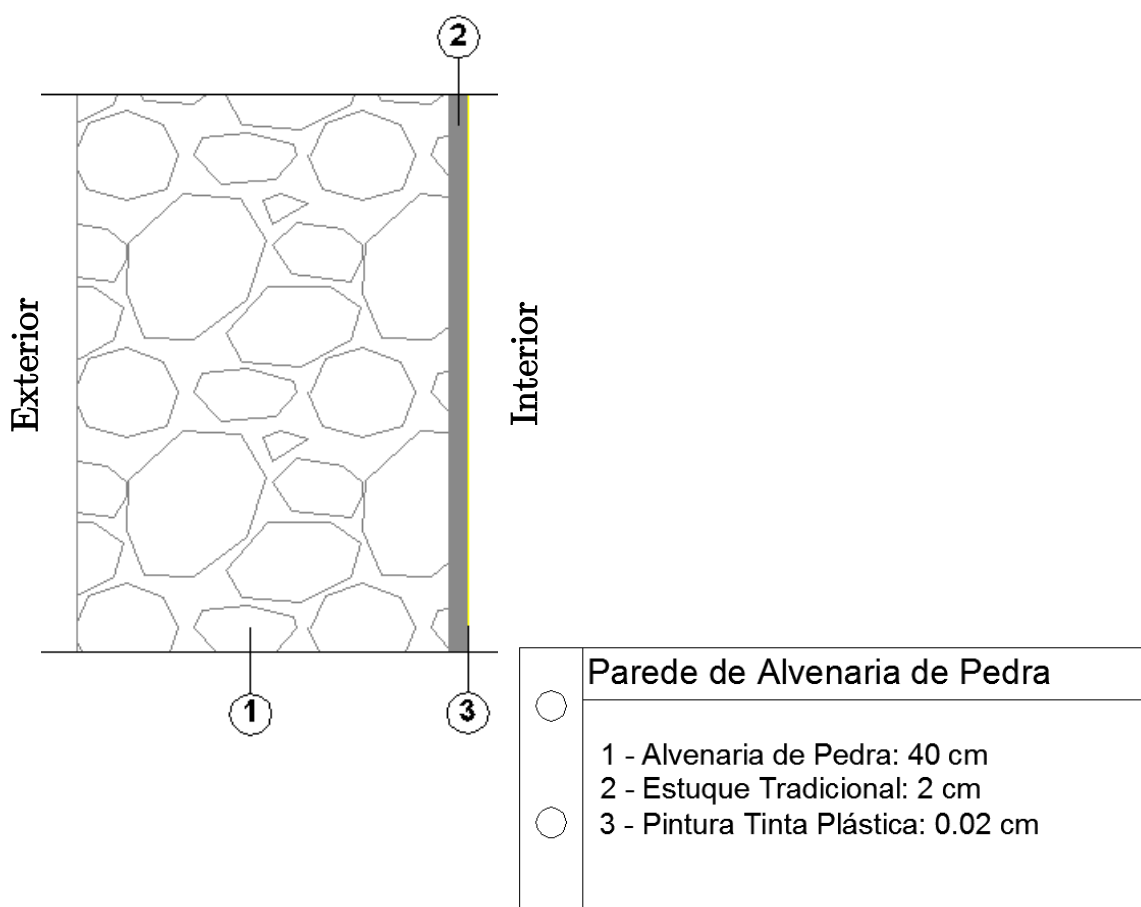


Figura 15 – Parede de alvenaria de pedra

3. Caracterização do Comportamento Térmico

Num edifício, as condições de conforto higrotérmico dos utilizadores podem ser asseguradas através de vários processos. Estes processos acarretam custos iniciais e custos de exploração, pelo que devem proporcionar condições mínimas de conforto, recorrendo de uma forma moderada a equipamentos de aquecimento e/ou arrefecimento.

Com a caracterização térmica pretende-se fazer a simulação do balanço térmico entre os ambientes interior e exterior do edifício, de modo a que se possa:

1) Em condições de Inverno:

- determinar, em edifícios com ocupação permanente, o fluxo de calor a fornecer e a potência do aquecimento necessário para que a sua temperatura interior seja aproximadamente constante, ou superior a determinado valor mínimo;
- determinar, em edifícios com ocupação parcial, o fluxo de calor a fornecer e a potência do equipamento necessária para que a sua temperatura interior permaneça aproximadamente constante, em torno de determinado valor limite inferior, ao longo de um determinado período do dia.

2) Em condições de Verão:

- determinar o fluxo de calor necessário a evacuar do edifício e definir a potência do equipamento de arrefecimento para que a temperatura do ar interior não exceda determinado valor limite;
- determinar a temperatura no interior do edifício, na ausência de meios de climatização artificial.

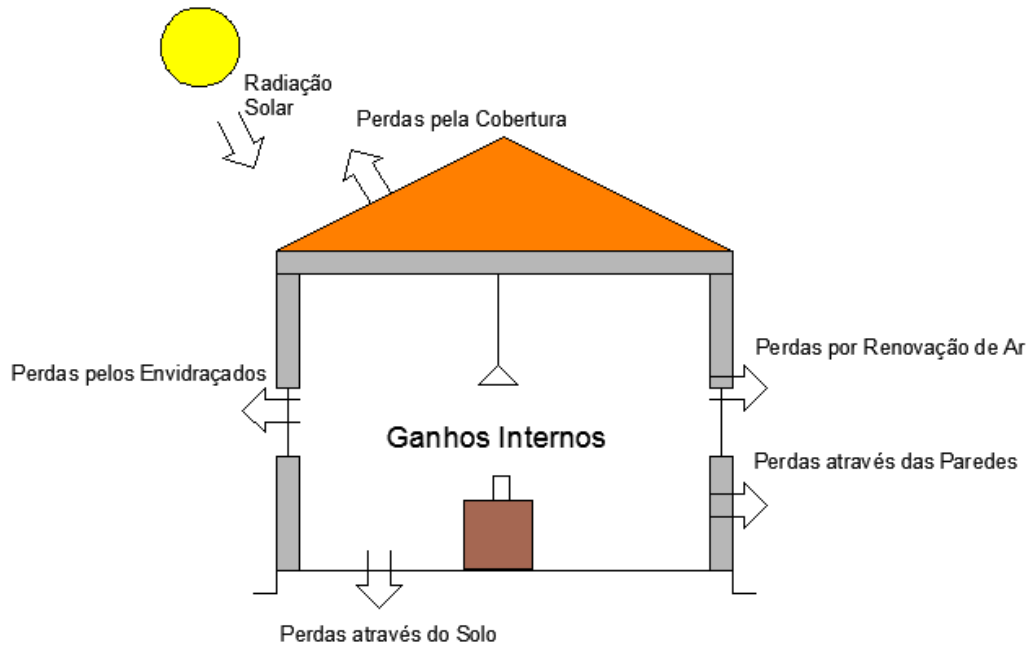


Figura 16 – Balanço térmico de um edifício [1]

3.1. Trocas de Calor em Edifícios

As trocas de calor que ocorrem nos edifícios classificam-se em perdas ou ganhos de calor. Relativamente às perdas, ocorrem através da envolvente e dividem-se em perdas por condução através dos elementos da construção e perdas devidas à renovação do ar interior. No que confere aos ganhos de calor, estes ocorrem também através da envolvente, havendo ainda a contabilizar uma parcela de ganhos internos, que decorrem da libertação de calor pelo metabolismo humano e por efeito de Joule associado ao funcionamento dos equipamentos dos edifícios. Relativamente aos ganhos através da envolvente, consideram-se aqueles que ocorrem por condução através dos elementos de construção, os que se devem à renovação do ar interior e os que derivam da radiação solar.

Este balanço entre perdas e ganhos de calor é condicionado pelas propriedades e características de constituição dos elementos de construção, que faz com que o

comportamento térmico de um edifício seja um processo complexo de prever e quantificar.

3.1.1. Trocas de Calor por Condução através da Envolvente

3.1.1.1. Zonas Correntes

A designação de zonas correntes aplica-se às zonas dos elementos de construção com um padrão uniforme de geometria e constituição interna.

As trocas de calor por condução dependem em grande parte das propriedades térmicas dos materiais, sendo traduzidas por parâmetros como, por exemplo, a condução térmica e o coeficiente de transmissão térmica, sendo este último o mais usual para contabilizar as trocas através do elemento, pois liga diretamente as temperaturas dos ambientes adjacentes e estas.

Salienta-se o facto de, no inverno, o efeito da radiação solar sobre a envolvente exterior ser favorável sob o ponto de vista das necessidades de aquecimento, não sendo por isso, normalmente, contabilizado. No verão, a situação inverte-se, uma vez que os níveis de radiação solar que incidem sobre a envolvente exterior podem fazer subir a sua temperatura para valores significativamente mais altos do que a temperatura do ar exterior, o que se torna condicionante em termos dos fluxos de calor por condução gerados.

3.1.1.2. Pontes Térmicas

Define-se como ponte térmica, toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente. Teremos

então, nas zonas de pontes térmicas, que as linhas de fluxo de calor deixam de ser retilíneas, aspecto característico de um processo unidirecional, e tomam as direções em que a resistência oferecida à passagem de calor é menor. Esta particularidade transforma a transmissão de calor nessas zonas num processo bidimensional ou mesmo tridimensional. As pontes térmicas resultam de uma heterogeneidade, registando-se nessas zonas um acréscimo de trocas de calor pela envolvente. Os casos mais comuns são: transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas – figura 17; alteração na espessura de um elemento – figura 18; diferenças entre áreas internas e externas, como é o caso que ocorre nos encontros entre paredes – figura 19, entre paredes e pavimentos e entre paredes e lajes – figura 20 [1,2].

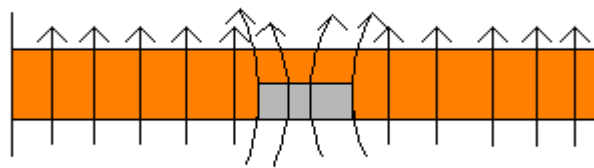


Figura 17 – Ponte Térmica devido à transição entre diferentes materiais [2]

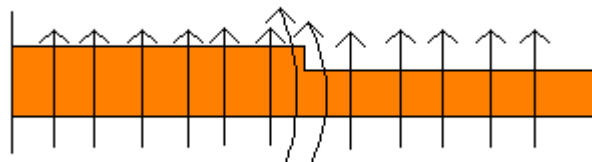


Figura 18 – Ponte Térmica devido a alterações de espessura [2]

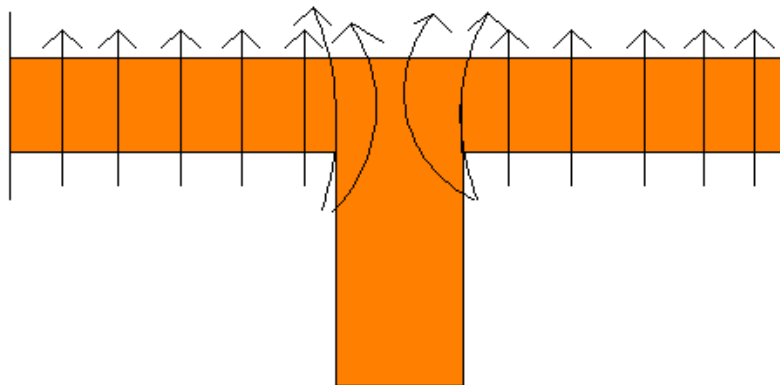


Figura 19 – Ponte Térmica devido à ligação de paredes [2]

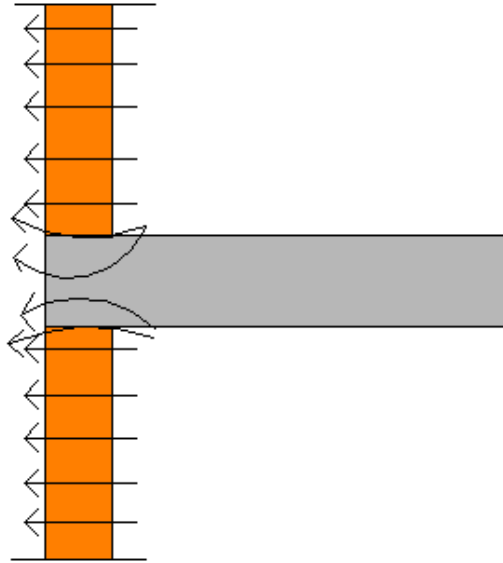


Figura 20 – Ponte Térmica devido à ligação da laje com a fachada [2]

A correção das pontes térmicas deve ser efetuada em função do tipo de pormenor construtivo, procedendo ao reforço do isolamento térmico nessa zona de modo a minimizar o seu efeito. Deve ser então analisado cada pormenor isoladamente, por forma a garantir uma solução corretiva [1,2].

3.1.1.3. Trocas de Calor Através do Solo

Nos elementos de construção em contato direto com o solo, cujas temperaturas apresentam características de variações específicas que diferem das do ar ambiente, vão processar-se trocas de calor por condução.

Para este caso, o valor das trocas de calor está mais suscetível a erros visto que depende da distribuição da temperatura no solo e da sua condutibilidade, exigindo um conhecimento mais amplo neste campo de aplicação.

3.2. Trocas de Calor por Renovação de Ar

Os edifícios devem ser ventilados, seja essa ventilação feita por via natural, artificial ou híbrida. No entanto, os caudais de ventilação constituem uma fonte de troca de calor entre o interior e o exterior e de consequentes acréscimos de consumo de energia para manter as condições interiores nos níveis de conforto programados, pelo que devem ser reduzidos ao mínimo necessário.

No inverno, em que a temperatura exterior se situa frequentemente abaixo da temperatura de conforto, a renovação de ar constitui uma perda de calor. No período de verão, ocorre a situação contrária à de inverno, ou seja, a ventilação dos diferentes espaços é fundamental para um arrefecimento noturno das construções.

É de salientar a importância do arejamento dos espaços, visto que a falta dele pode originar a diminuição da qualidade do ar interior e a ocorrência de condensações que podem promover o aparecimento de fungos e bolores, prejudiciais também à saúde e conforto dos ocupantes do edifício.

3.3. Ganhos Solares Através dos Envidraçados

Os envidraçados assumem particular relevância devido às perdas e ganhos de calor que ocorrem através da sua superfície. Uma escolha inadequada do tipo de vidro, juntamente com uma excessiva área de vãos envidraçados, pode conduzir à necessidade de utilização de recursos de aquecimento e arrefecimento muito dispendiosos, para assegurar condições de conforto.

Na estação de aquecimento, tem-se todo o interesse em captar a radiação solar, o que pode ser conseguido pela introdução de vãos envidraçados orientados a sul; na estação de

arrefecimento, interessa ter a menor superfície possível do envidraçado exposta a essa mesma radiação, o que pode ser conseguido através de sombreamentos adequados.

De toda a radiação total incidente no vidro, pode-se afirmar que uma parte é refletida de imediato para o exterior, outra é absorvida pelo vidro e uma terceira é transmitida através do vidro para o interior do edifício.

Para contabilizar o total de energia transferida para o interior do local não é suficiente conhecer as características de transmissão instantânea do envidraçado, pelo que, para contemplar a totalidade dos efeitos, recorre-se ao fator solar do vidro, que se define como a relação entre o ganho de calor através do vidro e a radiação solar nele incidente. Significa então que o fator solar do vidro, será tanto mais baixo, quanto menores forem os ganhos solares por esse vidro.

3.4. Ganhos Internos

Todos os processos que decorram nos edifícios, dos quais resultem conversão de energia química ou elétrica em calor, constituem ganhos internos. Como principais fontes de ganhos internos de calor existem: os próprios utilizadores do edifício que libertam calor em resultado da sua atividade metabólica; os sistemas de iluminação elétrica que neles se instalam e todos os outros equipamentos elétricos que neles funcionam e que dissipam calor. Existem aparelhos que, apesar de não serem elétricos, também produzem calor, tais como os fogões e as caldeiras ou esquentadores a gás, que também devem ser contabilizados na parcela dos ganhos internos.

Considerando que na estação de aquecimento a existência de ganhos de calor é favorável, do ponto de vista da economia de energia, muitas vezes estes ganhos são ignorados no cálculo das necessidades energéticas. Caso contrário, será o da estação de arrefecimento,

em que sendo desfavoráveis, deverão ser contabilizados na estimativa das necessidades de arrefecimento.

3.5. Inércia Térmica

A inércia térmica refere-se à capacidade de um elemento armazenar calor, libertando-o passado um determinado tempo, pelo que pode ser utilizado para absorver os ganhos de calor durante o dia e libertá-los durante a noite, contribuindo para uma maior estabilidade das temperaturas interiores, relativamente às oscilações térmicas do exterior e permitir uma utilização mais racional de energia na climatização dos espaços.

A inércia térmica depende de vários fatores, nomeadamente, da massa dos elementos de construção e da condutibilidade térmica dos materiais. Para que se possa tirar partido do mecanismo da inércia térmica de um edifício é importante que a massa de armazenamento térmico não esteja impedida de absorver calor, devido à aplicação de revestimentos termicamente resistentes ou de isolamento térmico no seu paramento interior.

4. Reabilitação Térmica de Fachadas

O Regime Jurídico da Reabilitação Urbana (RJRU), aprovado pelo Decreto Lei n.º 307/2009, de 23 de outubro e alterado pela Lei n.º 32/2012, de 14 de agosto, define reabilitação de edifícios como *«[...] a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva a um ou a vários edifícios, às construções funcionalmente adjacentes incorporadas no seu logradouro, bem como às frações eventualmente integradas nesse edifício, ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais, determinadas em função das opções de reabilitação urbana prosseguidas, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados, podendo compreender uma ou mais operações urbanísticas»*, (álnea i), do Art. 2.º).

A partir de Janeiro de 1991, data em que vigorou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico (RCCTE), houve um aumento na utilização de materiais leves para isolamento térmico da envolvente dos edifícios.

Porém, dada a sua diversidade, é difícil fazer uma escolha criteriosa destes materiais. Por outro lado, há necessidade de fazer uma seleção correta de forma a responder às exigências de utilização e não estarem na origem de ocorrência de patologias.

Hoje em dia, com a entrada em vigor do REH – D.L. n.º 118/2013 de 20 de Agosto que substituiu o RCCTE, uma parede em alvenaria de tijolo de pano simples ou até mesmo em alvenaria de pedra de espessura considerável, não impõe as condições para cumprir o coeficiente de transmissão térmica em qualquer parte do País.

O isolamento tanto reduz as perdas de calor como mantém as superfícies internas a uma temperatura superior à que teria se não fosse isolada.

O reforço do isolamento das fachadas de um edifício pode ser executado pelo exterior da fachada, pelo interior da fachada ou pela caixa de ar no caso de paredes duplas.

No entanto, em edifícios a reabilitar é pouco provável que haja intervenção da fachada pela caixa de ar ou então far-se-á por injeção de espuma de poliuretano, por exemplo.

Quando um paramento tem que ser mantido, por razões de ordem arquitetónica, ou outras, o reforço é viável pelo interior e pela caixa de ar, caso esta exista. Caso não seja imposta essa condição, ou quando as áreas interiores são consideravelmente pequenas, ou ainda haja uma degradação profunda na fachada a solução indicada será a aplicação do isolamento pelo exterior.

4.1. Aplicação do Isolamento Térmico pelo Exterior

A aplicação do isolamento térmico pelo exterior apresenta inúmeras vantagens relativamente aos outros tipos de aplicação, nomeadamente no que diz respeito à eliminação das pontes térmicas e à preservação da inércia térmica interior do edifício.

A aplicação do isolamento pelo lado exterior apresenta outras vantagens, tais como a resistência à penetração da chuva, a minimização dos riscos de combustão e de toxicidade, ou a viabilidade de o edifício se manter ocupado durante o decorrer das obras.

Por outro lado, apresenta custos mais elevados, pode apresentar inconvenientes de carácter arquitetónico e maiores riscos de vandalismo.

De seguida, estão descritos três tipos de soluções passíveis de serem aplicados como isolamento térmico pelo exterior.

4.1.1. “Vêture”

Vêture é a designação para os sistemas de isolamento térmico por componentes descontínuos pré-fabricados. Estes sistemas são constituídos por um material isolante em placa revestido exteriormente por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica. A sua fixação é efetuada diretamente aos suportes por meios mecânicos.

Estes sistemas exigem a aplicação de acessórios para reforço, proteção ou enquadramento, tais como, proteção de topos, reforço de ângulos e perfis de enquadramento do sistema em interrupções correspondentes a vãos, por forma a dar verticalidade à parede.

A aplicação destes sistemas exige suportes planos, pelo que se deverá fazer uma regularização prévia, se necessário. Em sistemas em que as placas têm dimensões menores, a sua aplicação poderá ser efetuada de baixo para cima ou de cima para baixo, sendo mais frequente utilizar o primeiro procedimento. Em sistemas com elementos em forma de lâmina, a sua aplicação é também feita, normalmente, de baixo para cima.

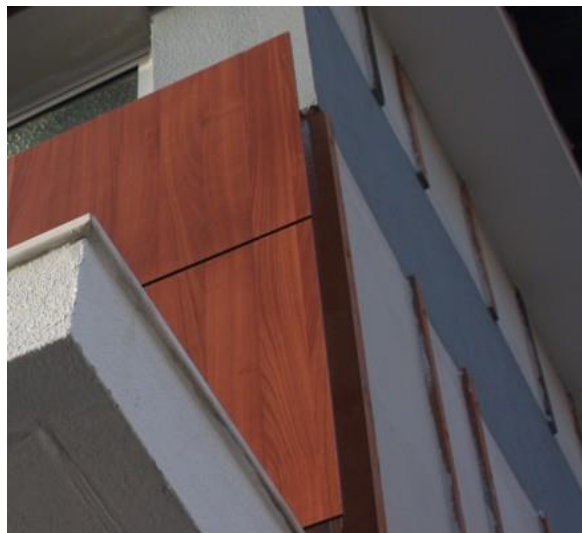


Figura 21 – Aplicação do isolamento tipo “Vêture” [29]

4.1.2. Sistema ETICS

O sistema ETICS – External Thermal Insulation Composite System – corresponde a uma das soluções de isolamento térmico pelo exterior aplicado de forma contínua, contribuindo em grande escala para a otimização do desempenho energético do edifício.

Este sistema integra uma camada de isolamento térmico aplicado diretamente sobre o suporte, e por um paramento exterior que protege o isolamento das agressões externas a que poderá estar sujeito.

Em Portugal, este sistema é constituído por placas de poliestireno expandido (EPS), coladas ao suporte e revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas e armado com uma ou mais malhas de fibra de vidro.

É importante salientar que a rede de fibra de vidro tem um papel fulcral na sua aplicação. As diferenças de temperatura e as deformações estruturais a que os edifícios estão sujeitos podem danificar os revestimentos utilizados. Assim, a rede de fibra de vidro, quando aplicada entre as demãos do revestimento, absorve as tensões instaladas, quer de origem estrutural, quer de origem térmica, evitando desta forma o aparecimento de fissuras nas fachadas.

As suas principais vantagens consistem em proporcionar maior resistência, permitir a melhoria na impermeabilização e impedir o aparecimento de fissuras visíveis nas paredes.



Figura 22 – Aplicação sistema ETICS [30]



Figura 23 – Pormenor colocação da rede fibra de vidro [31]

4.1.2.1. Benefícios da Utilização do Sistema ETICS

Por ser um sistema de isolamento aplicado pelo exterior da fachada, revela-se vantajoso dada a possibilidade de haver continuidade do isolamento térmico em toda a envolvente, proporcionando a diminuição e/ou correção significativa das pontes térmicas e das perdas globais de calor, bem como melhorar a impermeabilização da parede.

Como é visível na figura 24, este sistema tem efeitos na redução das condensações superficiais nos pontos singulares.

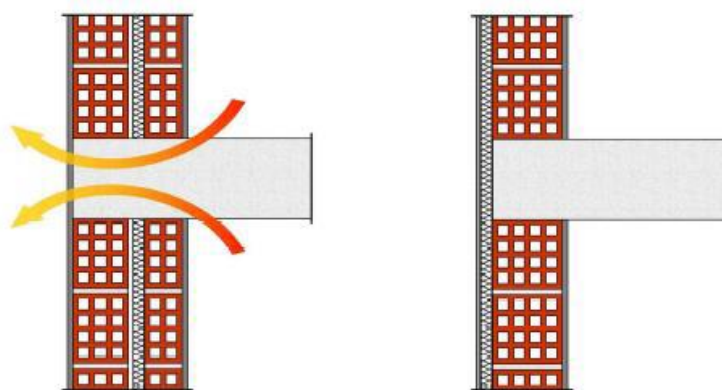


Figura 24 - Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [4]

Este sistema favorece o aumento da inércia térmica no interior dos edifícios, devido à posição do isolamento térmico, uma vez que a massa das paredes se localiza sobretudo do lado interior do isolante. No inverno, a maior inércia térmica no interior proporciona uma maior conservação do calor dentro do edifício. No verão, havendo capacidade de regulação da temperatura interior evita-se o sobreaquecimento [20].

Ao nível construtivo, obtém-se uma estrutura aligeirada, na medida em que só é necessário um pano de alvenaria e se trata de um isolante leve, diminuindo assim cargas permanentes, e conseguindo um aumento da área útil dos compartimentos.

Os resultados ao nível técnico são a maior durabilidade das fachadas, dado que o suporte é sujeito a variações térmicas menores – choque térmico – como é demonstrado na figura 25. E ao nível económico verifica-se uma diminuição dos gastos com aquecimento e arrefecimento das habitações [20].

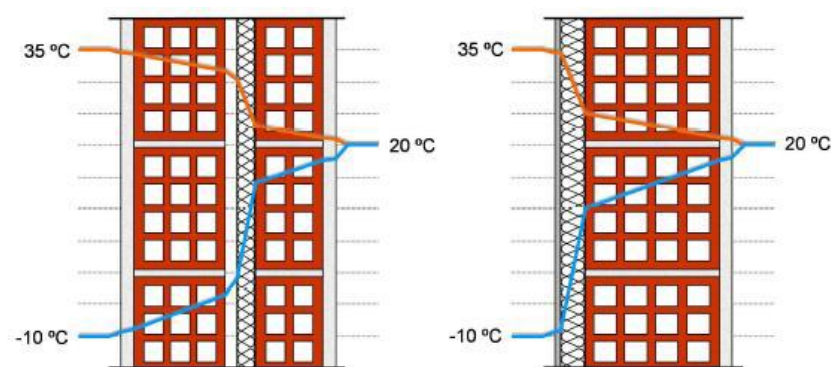


Figura 25 – Gradientes de temperaturas nas paredes com isolamento na caixa de ar e isolamento pelo exterior, respetivamente [4]

4.1.2.2. Desvantagens da Aplicação do ETICS

Como todos os sistemas, este também apresenta alguns inconvenientes na sua aplicação, tais como: a necessidade de mão-de-obra especializada; a dificuldade de aplicação quando

há aberturas; reação ao fogo mais elevada que as soluções de revestimento habitualmente usadas; elevada fragilidade ao choque, que é uma das condicionantes do sistema, principalmente em zonas de grande acessibilidade e concentração de pessoas; e, por último, a possibilidade de desenvolvimento de colonização biológica.

4.1.2.3. Constituição do Sistema

O sistema ETICS destina-se a ser aplicado em superfícies planas verticais no exterior dos edifícios, e também em superfícies horizontais (tetos) ou que formem ângulos, desde que não se encontrem expostas diretamente aos agentes atmosféricos, como chuva e vento.

Os suportes podem ser constituídos por:

- paredes em blocos de betão leve com argila expandida;
- paredes em alvenaria de tijolo, alvenaria de pedra, alvenaria de blocos de betão de inertes correntes, que poderão conter revestimentos de ligantes hidráulicos;
- paredes de betão moldado *in situ* de inertes correntes ou leves;
- painéis pré-fabricados de betão;
- e ainda, suportes rebocados, pintados ou com revestimentos orgânicos ou minerais.

Existem dois tipos de ETICS, que são visivelmente distinguidos pela espessura do revestimento:

- 1) Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso [3], em que se utilizam placas de EPS e um revestimento, normalmente do tipo não tradicional, de ligantes hidráulicos armados com rede metálica, sobre o qual poderá ser aplicado um revestimento delgado de massas plásticas ou uma tinta. A armadura do revestimento deverá ter ligações pontuais de natureza mecânica ao suporte (grampos ou cavilhas).

2) Sistema constituído por placas de isolamento térmico, geralmente de EPS, coladas ao suporte [5], revestidas por um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou mais malhas de fibra de vidro. Como acabamento utiliza-se geralmente um revestimento de tinta acrílica.

4.1.3. Fachada Ventilada

A fachada ventilada funciona como um sistema de proteção e como revestimento envolvente exterior vertical de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre o suporte e o revestimento, criando assim uma caixa de ar dinâmica, que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício. Este sistema pode ser utilizado tanto numa construção nova como numa obra de reabilitação ou conservação [6].

O revestimento é constituído por elementos independentes e descontínuos, de espessura e dimensões variáveis, fixados mecanicamente através de estruturas intermédias ou pontualmente [6].

4.1.3.1. Vantagens e Inconvenientes da Fachada Ventilada

Além das vantagens comuns a outros sistemas com isolamento térmico pelo exterior, destacam-se ainda as seguintes:

- melhoria do isolamento acústico devido à existência da caixa de ar, nomeadamente em frequências médias/altas;
- facilidade de manutenção e substituição;
- alta produtividade, visto que se trata de uma sistema de montagem industrializado.

Como todos os outros, este sistema apresenta inconvenientes, como:

- ausência de normas, regulamentos e requisitos de desempenho que agreguem valor comercial ao produto;
- necessidade de mão-de-obra qualificada e com experiência;
- exigência de projeto específico detalhado e que defina o processo de montagem;
- custos elevados relativamente a soluções mais tradicionais.

4.1.3.2. Constituição da Fachada Ventilada

A fachada ventilada é composta pelos seguintes elementos: [6]

- suporte;
- isolante térmico;
- caixa de ar ventilada;
- revestimento exterior que tem como principal função a proteção da parede do edifício e aspetos visuais;
- estrutura intermédia que permite a fixação do revestimento exterior e permite a caixa de ar.

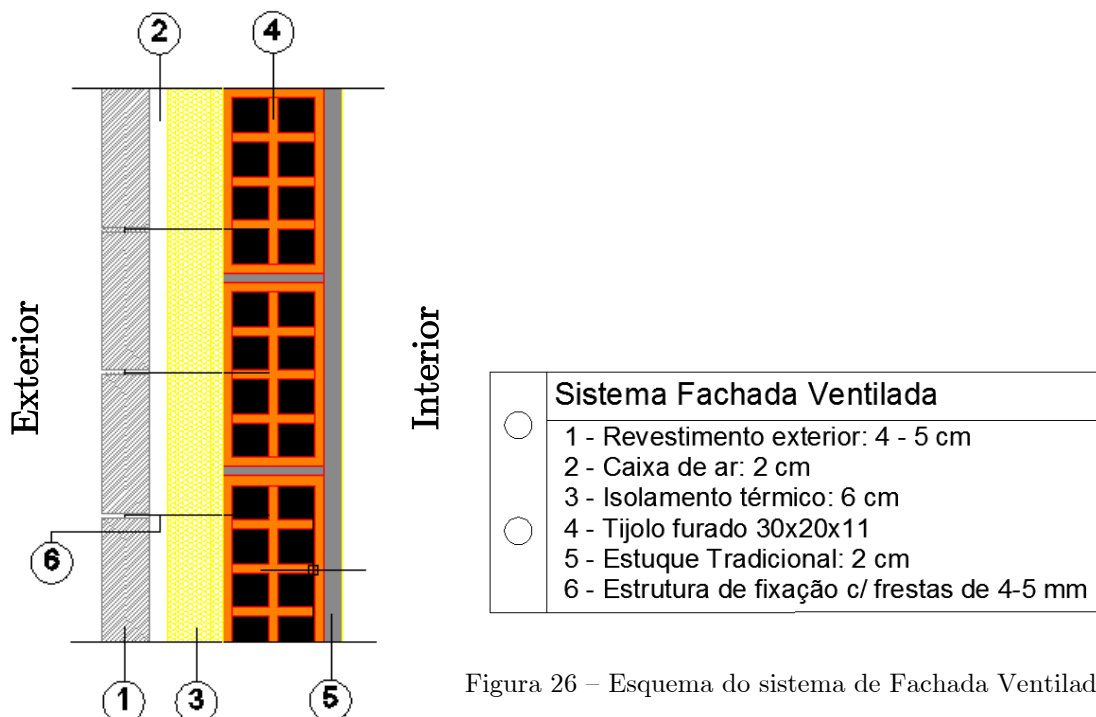


Figura 26 – Esquema do sistema de Fachada Ventilada

Todos os materiais utilizados na construção deste sistema devem ser protegidos de acordo com o ambiente a que estão expostos, de modo a evitar corrosões, apodrecimentos ou outras patologias. Para este sistema é importante que o suporte tenha uma espessura mínima de 20 centímetros, de modo a garantir um bom desempenho face às solicitações a que se sujeitará a parede.

4.2. Aplicação do Isolamento Térmico pelo Interior

É uma solução de reabilitação que é frequente em situações nas quais se torna impossível a alteração da fachada, por motivos arquitetónicos ou de exequibilidade, devido à presença de pedras com saliência na fachada ou outros fatores.

Uma opção destas acarreta, como em tantas outras situações, vantagens e inconvenientes.

No que se refere aos inconvenientes, salientam-se:

- na fase da reabilitação: os moradores terão que abandonar a habitação para proceder às obras ou sujeitarem-se a elas;
- após a reabilitação: o espaço útil interior será menor, sendo menor a área útil, pelo que o edifício ficará desvalorizado;
- em relação à reabilitação pelo exterior: a nível térmico verifica-se um aumento do coeficiente de transmissão térmica da parede mas não há um aumento da sua inércia térmica, visto que a massa da parede fica do lado de fora do isolamento, sendo então em termos de inércia térmica uma solução inviável. Na prática, isto significa que um compartimento irá ter variações bruscas de temperatura; por outro lado, este isolamento é mais propício à ocorrência de pontes térmicas, já que não há continuidade do isolamento como existe pelo exterior. Pelo interior apenas é possível isolar a parte interior da parede, do pavimento ao teto de cada piso,

ficando a laje sem isolamento, formando pontos sujeitos a condensações. Este problema pode ser atenuado colocando gesso cartonado com isolamento (lã de rocha) nos tetos dos compartimentos. No entanto, há as ligações com os vãos e as caixas de estores que são situações que requerem especial cuidado e o isolamento poderá não ser efetuado corretamente podendo haver ocorrência de pontes térmicas. Ao adotar-se esta solução, há que ter em atenção que a parede irá manter-se sujeita a um diferencial térmico elevado, pelo que se esta já apresentava problemas de fissurações, empolamentos, destacamentos ou outro género de patologias associadas às variações de temperatura, o facto de se aplicar o isolamento pelo interior não vai impedir que estes fenómenos se voltem a formar.

Por outro lado, existem fachadas que colocam a reabilitação pelo interior como uma opção preferencial em determinadas situações. Esta permite a preservação do aspeto exterior da fachada com o seu aspeto original, principalmente nos edifícios onde estejam presentes elementos culturais de relevo ou azulejos em bom estado de conservação, tal como em edifícios históricos, por exemplo.



Figura 27 – Moradia com pedra pelo exterior [33]

Outro fator é o custo do investimento, que nesta opção é claramente inferior em relação à solução de reabilitação pelo exterior. A solução pelo interior apresenta ainda outras

vantagens como o facto de as obras não ficarem expostas aos agentes atmosféricos e em futuras intervenções torna-se mais fácil proceder a alterações ou reparações pelo interior do que pelo exterior.

Vejamos, agora, dois tipos de soluções possíveis para aplicação de isolamento térmico pelo interior.

4.2.1. Painéis Isolantes Pré-Fabricados

São painéis com a altura do pé direito livre dos compartimentos, constituídos por placas de poliestireno revestidas com um paramento de gesso cartonado. Os painéis podem ser colados diretamente ao paramento a reabilitar, ou ser fixados através de uma estrutura de apoio. Neste caso será criada uma caixa de ar intermédia.

4.2.2. Contra Fachada Executada Pelo Interior

Esta solução consiste na construção de um pano de alvenaria de espessura reduzida, ou de um forro em placas de gesso cartonado, pelo lado interior da parede, incorporando um isolamento térmico entre os dois elementos. Ambas as soluções reduzem a área útil do compartimento. Para evitar o risco de infiltração de água, deve ser deixada uma caixa de ar entre o isolante térmico e a parede pré-existente.



Figura 28 – Execução de contra fachada pelo interior [20]

Nas contrafachadas em alvenaria, o tijolo usual é o de 30x20x7 centímetros. Se for criada caixa de ar, esta deve ter calceira com inclinação mínima de 2% e ser provida de sistema de drenagem para o exterior.

Quanto às contrafachadas em gesso cartonado, as placas de isolante devem ser coladas ao paramento da parede a tratar, criando posteriormente uma estrutura em madeira com régua verticais espaçadas entre si de aproximadamente 60 cm, e duas travessas, uma em cima e outra em baixo. Esta estrutura deverá ser devidamente fixada à parede. As placas em gesso cartonado são por sua vez fixadas à estrutura em madeira através de aparafusamento. As placas devem ter espessura mínima de 12,5mm.

Em ambos os casos, há que prestar atenção às singularidades, nomeadamente às ligações com peitoris e remates com vãos de janelas e portas.

4.3. Aplicação de Isolamento Térmico na Caixa de Ar

A injeção de isolamento – por exemplo, poliuretano injetado – na caixa de ar é uma solução económica que permite manter o aspeto interior e exterior das paredes, reduzindo ao mínimo as operações de reposição dos respetivos paramentos, que se limitam à vedação dos furos de injeção.

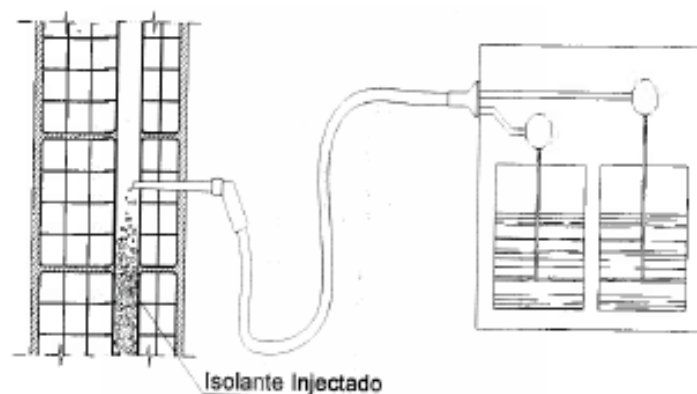


Figura 29 – Exemplo de aplicação de isolantes injetados [12]

Esta solução possui algumas condicionantes:

- a caixa de ar pode ter uma espessura pequena ou apresentar-se preenchida com argamassa ou detritos o que dificultará a aplicação homogénea do isolante;
- o isolante tem de preencher a totalidade da caixa de ar, não deverá sofrer assentamentos quando sujeitos a vibrações e deverá manter-se inalterável ao longo do tempo;
- muitos dos isolantes térmicos injetados têm características hidrófilas, pelo que a sua constituição e espessura do pano exterior deve impedir o acesso da humidade ao isolante;
- a espuma de ureia-formaldeído, um dos materiais isolantes frequentemente utilizados, apresenta um componente deficiente sob o ponto de vista higroscópico, da estabilidade dimensional e química.

De salientar que a deficiente estabilidade química origina a libertação de formaldeído, substância nociva à saúde se a sua concentração no ar exceder valores admissíveis.

No quadro seguinte apresentam-se as soluções possíveis:

Localização do isolamento	Tipos de soluções	
Na caixa de ar (em paredes duplas)	Injeção de produtos	Fibras ou flocos
	isolantes a granel	Grânulos de material isolante
	Injeção de espumas	Espuma rígida de poliuretano
	isolantes	Espuma de ureia-formaldeído

Quadro 1 – Soluções de reforço de isolamento térmico

4.4. Características dos Isolantes Térmicos

Apresentamos, de seguida, algumas das propriedades físicas e higrotérmicas mais relevantes dos isolantes térmicos. Alguns deles serão utilizados nos casos práticos [12].

4.4.1. Condutibilidade Térmica - λ

A condutibilidade térmica é uma propriedade característica de cada material que depende de vários fatores, tais como: porosidade, diâmetro das fibras, dimensão dos poros, caráter isotrópico ou anisotrópico e envelhecimento (para materiais celulares o valor da condutibilidade térmica aumenta conforme o envelhecimento devido à perda de gás contido nas células, por troca com o ar). Contudo, os fatores mais condicionantes são a temperatura, a massa volúmica e o teor de humidade.

A condutibilidade térmica aumenta com o teor de humidade – figura 31 - e apresenta um valor ótimo para um dado valor da massa volúmica – figura 32.

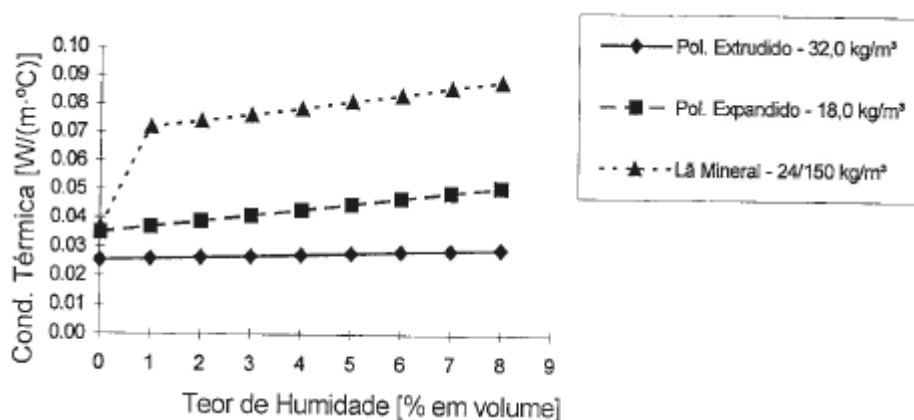


Figura 30 – Variação da condutibilidade térmica com o teor de humidade para vários materiais de isolamento térmico [12]

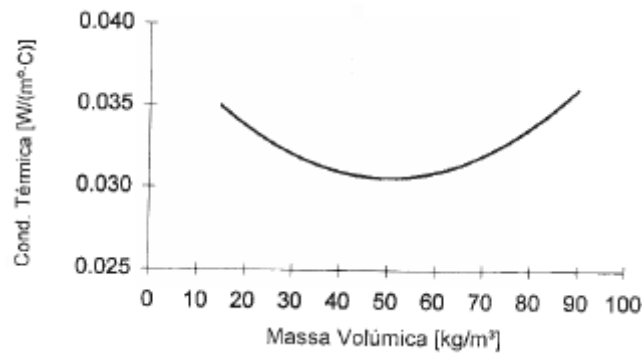


Figura 31 – Condutibilidade térmica do poliestireno expandido em função da massa volúmica medida à temperatura de 10°C [12]

No quadro 2 apresentam-se valores de condutibilidade térmica de alguns isolantes.

Tipo de Isolante	Condutibilidade Térmica (W/(m.°C))
Poliestireno Expandido (EPS)	0,037
Lã de Rocha	0,042 (100< ρ <180 kg/m ³)
Espuma de Poliuretano (PUR)	0,042

Quadro 2 – Valores convencionais da condutibilidade térmica [15]

4.4.2. Comportamento em Relação à Água

Para caracterizar o desempenho de um isolante térmico é fundamental conhecer o seu comportamento face à água, nomeadamente:

- absorção de água por gravidade, capilaridade, imersão e aspensão;
- impermeabilidade;
- higroscopicidade (absorção de água no estado de vapor);
- carácter não hidrófilo;
- imputrescibilidade;
- intumescimento, dilatação do material;

- possibilidade de dissolução de aditivos eventualmente existentes.

4.4.3. Permeabilidade ao Vapor de Água

É importante conhecer o grau de permeabilidade ao vapor de água de um isolante para uma correta conceção da envolvente face à difusão de vapor.

No quadro 3 apresentam-se valores de permeabilidade ao vapor de alguns isolantes.

Tipo de Isolante	Permeabilidade ao Vapor - Π (g/m.h.mm
	Hg) x 10 ⁻⁵
Poliestireno Expandido (EPS)	300
Lã de Rocha	7000
Espuma de Poliuretano (PUR)	200

Quadro 3 - Valores convencionais de permeabilidade ao vapor [12]

4.4.4. Comportamento Face aos Agentes Atmosféricos e Biológicos

Os isolantes, quando aplicados pelo exterior da envolvente, estão expostos a ações exteriores pelo que devem ser suficientemente resistentes a degradações por elas provocadas. Das ações exteriores, destacam-se a chuva, a radiação solar, a neve, o vento, os ciclos de gelo/degelo, os fungos e bactérias, os roedores, os insetos e as aves. Para que os isolantes tenham capacidade de resistência a tais ações, os isolantes podem incluir aditivos específicos na sua composição.

4.4.5. Comportamento Face ao Fogo

Outra característica relevante de um material isolante é o comportamento perante uma situação de combustão de um material isolante, principalmente quando pode causar perigo para a comunidade.

Os parâmetros a ter em conta na escolha do isolante são: a reação ao fogo, o risco de deflagração, a temperatura limite de utilização, a libertação de fumos e de gases tóxicos ou outras substâncias que possam propagar o incêndio.

O isolante pode ter na sua constituição aditivos ignífugos que dificultem a sua combustão ou propagação de incêndio.

4.4.6. Comportamento Mecânico

É importante conhecer a resistência do isolante face à compressão, tração, flexão, punçoamento, corte, ações dinâmicas e deformação com carga permanente.

Por norma, a resistência mecânica é proporcional à massa volúmica e é influenciada pelo caráter isotrópico/anisotrópico do material.

4.4.7. Compatibilidade Física, Química, Biológica e Mecânica

A compatibilidade é importante quando o isolante se encontra ligado a outros materiais. Importa conhecer o pH, a resistência a ácidos e bases e a possibilidade de corrosão. A utilização de materiais de isolamento térmico inadequados pode agravar a degradação de materiais confinantes com os isolantes.

4.4.8. Outras Características

E não menos importantes que as características atrás enumeradas há outras, tais como:

- o custo de aquisição e de aplicação;
- mão de obra para aplicação e para posterior e regular limpeza;
- o tempo de vida útil;
- a versatilidade;
- o conforto visual;
- a conformidade com a regulamentação técnica (diretiva europeia dos produtos de construção, REH, entre outros);
- a estabilidade dimensional (conhecer o tempo de retração após fabrico);
- o controlo de qualidade na produção;
- a existência de informação técnica.

5. Condensações Internas

5.1. Método de Glaser

Embora se tenha assistido a uma crescente preocupação no sentido de promover a qualidade dos edifícios, o problema das humidades nas habitações é uma patologia cada vez mais frequente. As condensações internas são talvez a patologia mais típica dos edifícios construídos atualmente.

Os mecanismos que regem o transporte de humidade numa parede são complexos:

- Na fase de vapor, a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros condicionam o transporte;
- Na fase líquida, a capilaridade, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externos comandam a transferência de humidade.

No entanto, o transporte em fase de vapor e em fase líquida ocorrem em simultâneo e as condições de temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar e a pressão do vento são muito variáveis ao longo do tempo.

Em termos físicos podemos considerar que há três mecanismos fundamentais de fixação da humidade: absorção, condensação e capilaridade. Estes três mecanismos permitem explicar, na generalidade dos casos, a variação do teor de humidade no interior dos materiais de construção que possuem porosidade.

O fenómeno das condensações é explicado por Glaser, que afirma que no interior de um material de construção, a pressão de vapor tem que ser inferior ou igual à pressão de saturação, e no caso de serem iguais ou a pressão de vapor ser superior à pressão de saturação, ocorrem condensações pois o transporte em fase de vapor origina uma fase

liquida. Quando os teores de humidade gerados pela condensação são elevados, passa a haver fluxos de humidade em fase líquida no sentido contrário ao fluxo de vapor.

Quando duas faces de elementos se encontram a temperaturas diferentes, através do diagrama psicrométrico pode-se determinar a respetiva curva da pressão de saturação. No caso de se verificarem interseções entre a curva de pressão de saturação e a curva de pressões instaladas, então haverá condensação. Caso contrário, se as curvas não se intersectarem, a condensação não existirá.

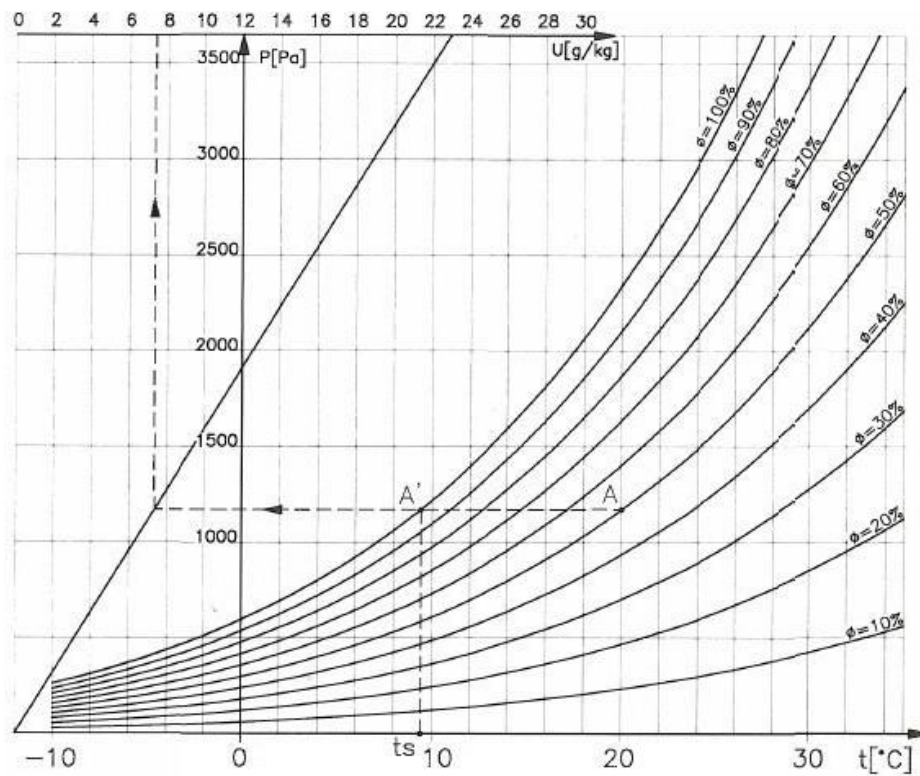


Figura 32 – Diagrama psicrométrico [7]

Como se pode observar na figura 33, o ar do interior dos edifícios contém uma determinada quantidade de vapor de água, a que corresponde um valor mínimo de temperatura abaixo do qual ocorrem condensações, designada por temperatura de ponto de orvalho – t_s .

O clima interior dos edifícios e as condições climáticas exteriores são os fatores que determinam os gradientes de pressão de vapor de água a que um elemento da envolvente se encontra sujeito, que por sua vez condicionam o fluxo de difusão de vapor através dos elementos que a compõem. A alimentação desse fluxo condensado advém do vapor contido inicialmente nesse domínio e, fundamentalmente, do fluxo que se desloca da zona quente para a zona fria dos elementos de construção. As diferenças de pressão de vapor de água entre o ambiente interior dos edifícios e o exterior variam em função do tipo de utilização dos edifícios, existindo um parâmetro designado por higrometria que permite a sua caracterização.

Conforme a higrometria – parâmetro que traduz o aumento de pressão de vapor de água no interior de um local em relação ao exterior – dos edifícios, é necessário ter mais ou menos cuidados na sua conceção face à difusão de vapor e às condensações internas.

Os riscos de condensação serão maiores no período de inverno, normalmente entre os meses de Janeiro e Abril, ocorrendo estas junto a superfícies internas mais frias ou em espaços mal ventilados como cozinhas, sanitários e lavandarias. Uma causa típica deste fenómeno ocorre quando o ar quente gerado numa divisão circula pela casa até outro compartimento mais frio, onde o ar não consegue comportar tanta humidade, sendo este excesso depositado nas superfícies existentes nessa divisão.

Para evitar a condensação é importante manter a humidade relativa interior a um valor inferior a 70%, recorrendo a técnicas como aumento da temperatura interior, ventilando ou reduzindo a humidade produzida.

O modelo de Glaser baseia-se na lei de Fick (fase vapor) e Darcy (fase líquida), que diz que o fluxo de vapor que atravessa uma parede plana em regime estacionário depende da permeabilidade ao vapor e da espessura do elemento e da pressão de vapor. É um modelo

bastante utilizado pela sua simplicidade e facilidade de exploração gráfica que no entanto não tem em conta o movimento posterior da fase líquida resultante da condensação.

5.1.1. Condições de Aplicação do Método de Glaser

A aplicação do método de Glaser requer a consideração de algumas hipóteses simplificativas, sendo: [7]

- a humidade desloca-se apenas por transferência de vapor de água (poderão existir outros);
- não há transporte de ar, pelo que a transferência de vapor se deve apenas à difusão;
- a difusão de vapor de água obedece à lei de Fick;
- o transporte de calor dá-se apenas por condução (pode dar-se também por convecção e radiação);
- o regime é permanente (não existe regime permanente, porque os meses que são mais gravosos e que só neles poderá ocorrer são os de inverno);
- os materiais são não-higroscópicos (os materiais são em geral, higroscópicos);
- os elementos de construção são estanques ao ar;
- os elementos de construção têm as faces planas e paralelas;
- os coeficientes de permeabilidade ao vapor de água e de condutibilidade térmica são constantes (os coeficientes são únicos e adaptados a cada material);
- não há movimento (redistribuição) do vapor de água condensado.

Trata-se de simplificações drásticas que fazem com que o fluxo condensado seja calculado por excesso, mas numa situação real não estão aplicados todos os fatores enumerados que fazem com que haja condensação.

5.1.2. Análise Gráfica do Método de Glaser

Graficamente, o método de Glaser tem as seguintes fases: [7]

1.^a Fase – Representa-se o elemento construtivo num sistema de eixos, em que $R_{dj} = \sum \left(\frac{e_j}{P_j} \right)$ é a resistência à difusão acumulada no ponto j e P_j a pressão parcial de vapor de água instalada nesse ponto;

2.^a Fase – Calcula-se a “curva” das temperaturas instaladas no elemento construtivo e a “curva” das pressões de saturação correspondente, utilizando o diagrama psicrométrico;

3.^a Fase – Compara-se a “curva” das pressões de saturação com a “curva” das pressões instaladas, gerada pelas condições nas duas faces. Se as “curvas” não se intersectarem, então não há condensações;

4.^a Fase – Se, pelo contrário, a “curva” das pressões de saturação e a “curva” das pressões instaladas se intersectarem, então traçam-se as tangentes à “curva” das pressões de saturação, a partir dos pontos que definem as pressões instaladas nas suas faces, delimitando-se assim a zona onde ocorrem as condensações.

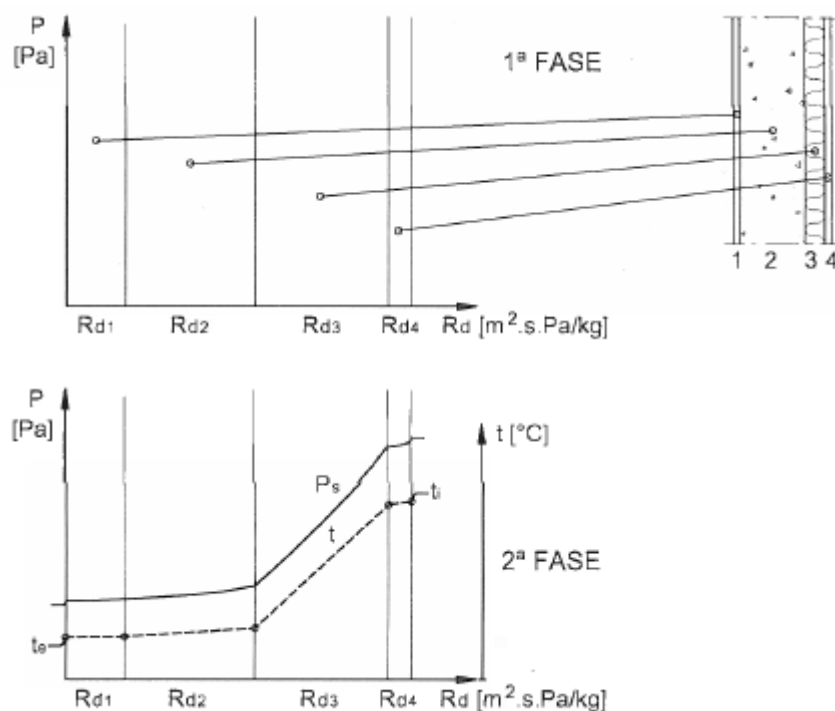


Figura 33 – Representação da 1.^a e 2.^a fases do método Glaser [7]

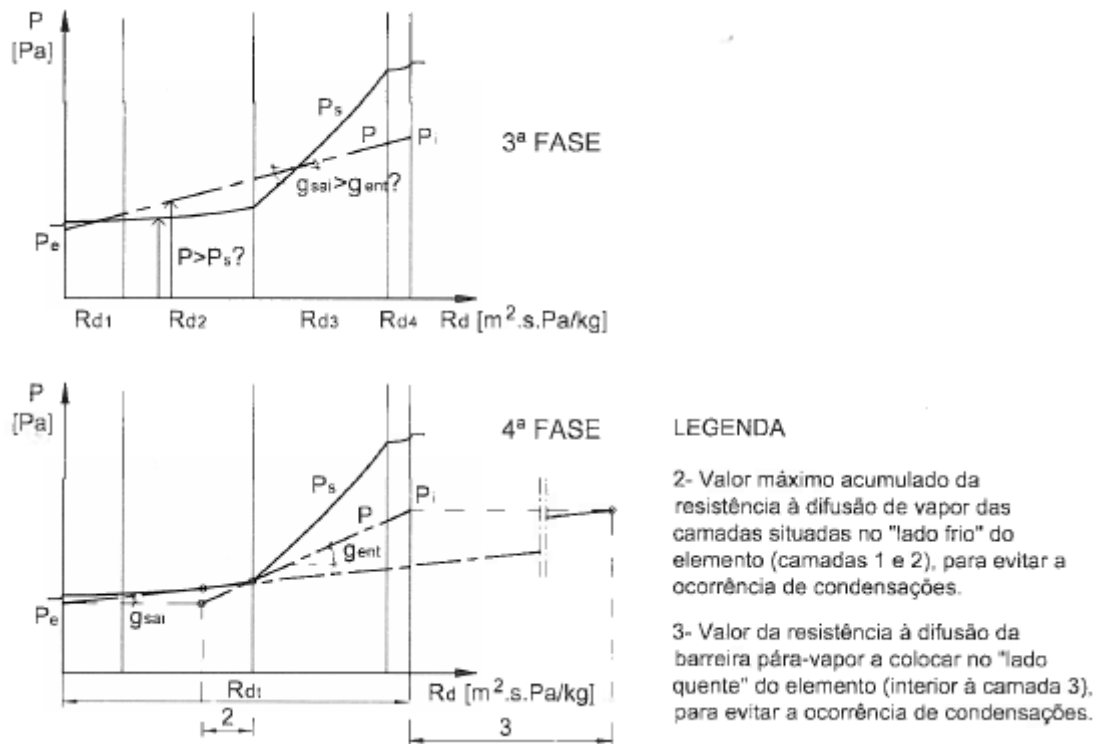


Figura 34 - Representação da 3.^a e 4.^a fase do método Glaser [7]

5.2. Diminuição dos Riscos de Ocorrência de Condensações

Quando o objetivo é diminuir o fluxo de vapor que atravessa um elemento construtivo, diminui-se a sua permeância ao vapor de água, nomeadamente através da colocação de camadas com elevada resistência à difusão de vapor. No entanto, na colocação destas camadas terá que se ter em atenção o posicionamento dos materiais em função das suas propriedades, sendo este um fator muito importante para a diminuição dos riscos de ocorrência de condensações [7].

Na figura 35 está representado um exemplo, em que um elemento é composto por duas camadas – camada 1 e camada 2 – tendo ambos a mesma resistência térmica mas resistência à difusão de vapor diferente, tomando a camada 1 o valor mais elevado. Se a camada 1 for colocada no interior da camada 2, então a “curva” das pressões de saturação terá tendência a afastar-se da “curva” das pressões instaladas. Se, pelo

contrário, a camada 1 for colocada pelo exterior da camada 2, então a “curva” das pressões de saturação terá tendência a aproximar-se e a interseccionar a “curva” das pressões instaladas, originando condensações [7].

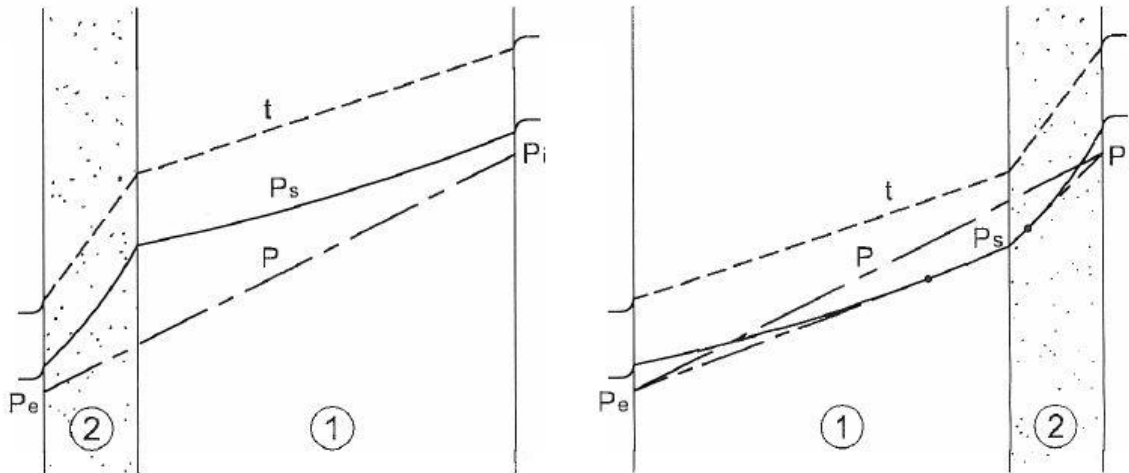


Figura 35 – Importância das propriedades e posicionamento das camadas nas condensações internas [7]

5.3. Norma EN ISO 13788

A norma EN ISO 13788 apresenta um método, também ele baseado no método Glaser, com a finalidade de determinar o fluxo total anual condensado e o máximo valor de humidade de condensação acumulado no interior dos elementos. Além disso, esta norma considera que há evaporação de qualquer humidade de condensação no elemento de construção [18].

5.3.1. Princípio

A humidade de condensação pode ocorrer em uma ou mais interfaces, bem como a evaporação do elemento construtivo.

O valor acumulado de humidade de condensação no final dos meses em que esta ocorre é comparado com o total de evaporação durante o resto do ano. Se o fluxo de evaporação compensar o fluxo condensado durante os doze meses do ano, significará que não haverá problemas no elemento de construção.

O cálculo começa num qualquer mês do ano determinando-se a temperatura, a pressão de saturação e a distribuição da pressão de vapor ao longo dos constituintes dos elementos de acordo com o método Glaser já descrito anteriormente, prevendo-se a existência de algumas condensações no mês considerado [18].

Se não existirem condensações nesse mês, o cálculo tem que ser feito para os restantes meses até que:

- não sejam verificadas condensações nos doze meses do ano – elemento livre de condensações;
- seja encontrado um mês com ocorrência de condensações que passará a ser o mês inicial.

Se existirem condensações no mês em estudo, o cálculo deve ser repetido sucessivamente para os restantes e anteriores meses a esse, até que:

- se verifiquem condensações em todos os dozes meses do ano, calculando-se o total de condensações acumulado anualmente;
- seja encontrado um mês sem condensações. O mês seguinte a esse passará a ser o mês inicial.

5.4. Programa de Cálculo

A avaliação do risco de ocorrência de condensações nos elementos construtivos pode ser realizada de uma forma mais rápida e simples, utilizando um software que foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O programa de cálculo automático *Condensa 13788*, baseado no método Glaser, é um instrumento que permite facilmente simular um comportamento dos elementos construtivos e conseqüentemente quantificar as suas condensações.

Os resultados deste programa são apresentados sob a forma de gráficos que permitem visualizar a zona onde ocorrem condensações, que através de tabelas fornecem os respectivos valores das pressões de saturação e instaladas, e dos fluxos condensados mensais e condensados acumulados em cada mês do ano. Estes resultados obtêm-se para diferentes composições do elemento em estudo, desde que sejam conhecidas as características dos elementos e as propriedades higrotérmicas dos materiais que compõem as camadas do elemento de construção.

Dado que o programa *Condensa 13788* foi desenvolvido recentemente, possibilita considerar a secagem do elemento construtivo, quantificando o fluxo de evaporação de acordo com o método preconizado pela norma EN ISO 13788.

6. Regulamentação

A Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), do Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e do Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Para além de ter sido promovida a eficiência energética dos edifícios, adquiriu-se experiência no uso desta regulamentação, que foi notória mais tarde na atualização da mesma, tendo sido passível de melhoria.

Com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi reformulado o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002.

Esta diretiva veio esclarecer alguns dos princípios da diretiva anterior e introduzir novas disposições que acentuam o reforço da promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020.

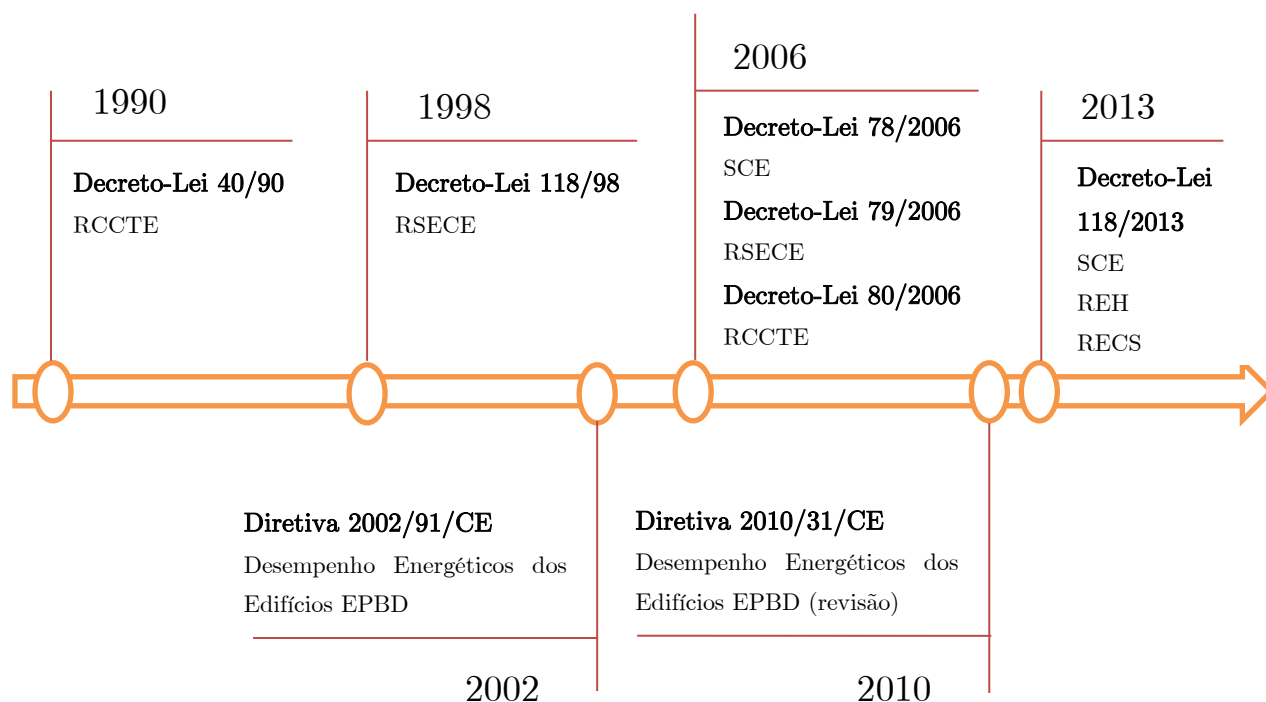
Em 2013 surgiram, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A atualização da legislação nacional existente envolve alterações a vários níveis, do qual se destaca a junção num só diploma de uma matéria anteriormente regida por três diplomas distintos, recorrendo, assim, a uma reorganização que visa promover a facilidade de interpretação por parte dos destinatários refletida na divisão do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando o REH a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e o RECS sobre os edifícios de comércio e serviços.

Em suma, este processo veio facilitar a procura, o tratamento de dados e a gestão administrativa dos processos.

A criação de metas graduais para obter a sustentabilidade e eficiência com limite até 2020 permite adquirir condições que facilitam a adaptação do mercado, ao mesmo tempo que aponta no sentido de renovação do parque imobiliário por via da promoção de edifícios cada vez mais eficientes.

6.1. Novo Enquadramento Legislativo



6.2. Objetivo do REH

De acordo com o artigo 22.º do Capítulo III do REH, *“O REH estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.”*

6.3. Âmbito de Aplicação do REH

De acordo com o artigo 22.º do Capítulo III do REH, *“1 - ...aplica-se aos edifícios destinados a habitação, nas seguintes situações: a) projeto e construção de edifícios novos; b) grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes; c) avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes, no âmbito do SCE. 2 - ... a aplicação do REH deve ser verificada: a) no caso de edifícios de habitação unifamiliares, para a totalidade do edifício; b) no caso de edifícios de habitação multifamiliares, para cada fração constituída ou, em edifícios em projeto ou em construção, para cada fração prevista constituir; c) no caso de edifícios mistos, para as frações destinadas a habitação, independentemente da aplicação do RECS às restantes frações. 3 - Excluem-se do âmbito de aplicação... os seguintes edifícios e situações particulares: a) edifícios não destinados a habitação; b) edifícios mencionados nas alíneas h) e i) do artigo 4.º.”* A alínea h) corresponde aos monumentos e aos edifícios individualmente classificados ou em vias de classificação; a alínea i) refere os edifícios

integrados em conjuntos ou locais classificados ou em vias de classificação, ou situados dentro de zonas de proteção.

6.4. Dados Climáticos

Houve uma atualização e ajuste das zonas climáticas, sendo que os mapas representados à esquerda são os que estavam em vigor no RCCTE, os mapas que se encontram representados à direita são os que vigoram atualmente pelo novo regulamento – REH.

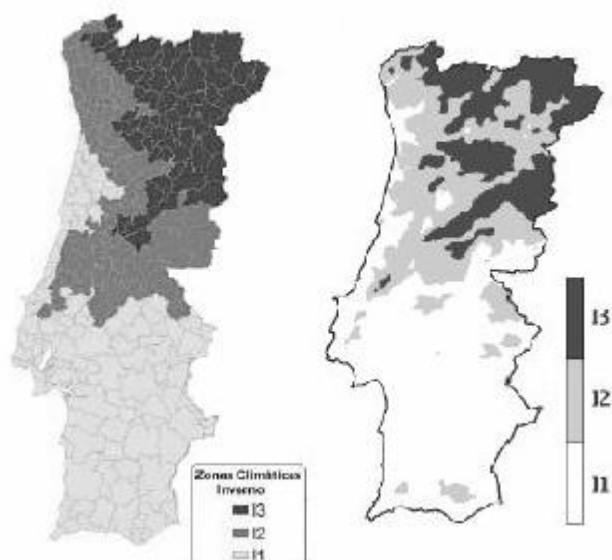


Figura 36 – Zonas climáticas de inverno pelo RCCTE (esq.) e REH (dir.) [13]

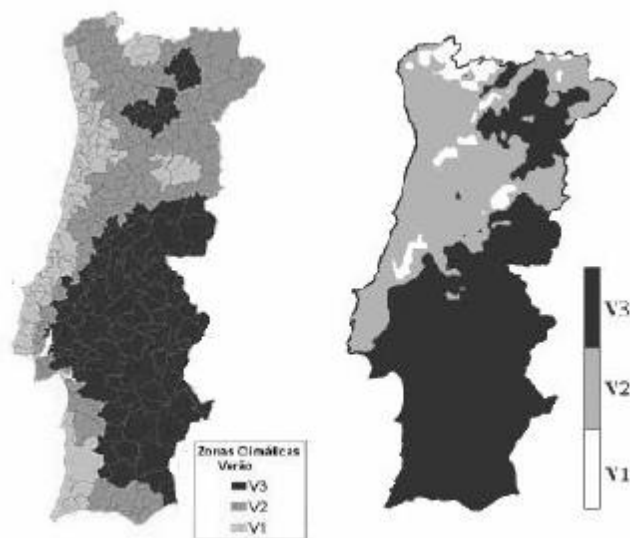


Figura 37 – Zonas climáticas de verão pelo RCCTE (esq.) e REH (dir.) [13]

6.5. Coeficiente de Transmissão Térmica

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

Despacho nº15793-K/2013 (8)

Em que:

R_j – Resistência térmica da camada j ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);

R_{si} – Resistência térmica superficial interior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);

R_{si} e R_{se} – permitem quantificar perdas por convecção e radiação.

No quadro 5 estão presentes os valores da resistência térmica da superfície exterior e da superfície interior que devem ser considerados como referência para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica.

Despacho nº15793-K/2013

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	
		Exterior (R_{se})	Interior (R_{si})
Horizontal (através de paredes)		0,04	0,13
Vertical	Ascendente (ex.: através de coberturas*)	0,04	0,10
	Descendente (ex.: através de pavimentos em contacto com o exterior)	0,04	0,17

Quadro 4 – Valores das resistências térmicas superficiais interior e exterior [21]

O quadro 6 refere-se aos valores que o coeficiente de transmissão térmica deve tomar como máximos, não devendo em caso algum o coeficiente global de uma superfície opaca exceder estes mesmos valores, que constam da Tabela I.05 da Portaria 349/B/2013.

$U_{\text{máx}}$ [W / (m ² .°C)]		Zona Climática		
		I1	I2	I3
Elemento da envolvente em contacto com o exterior, espaços não úteis $b_{\text{tr}} > 0.7$	Elementos verticais	1.75 (1.80)*	1.60	1.45
	Elementos horizontais	1.25	1.00	0.90
Elemento da envolvente em contacto com outros edifícios, espaços não úteis $b_{\text{tr}} \leq 0.7$	Elementos verticais	2.00	2.00	1.90
	Elementos horizontais	1.65	1.30	1.20

*valores considerados no RCCTE

Quadro 5 – Valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica consoante a zona climática [21]

Uma das alterações provocadas pela mudança na regulamentação é relativa aos valores de referência do coeficiente de transmissão térmica. Este coeficiente toma atualmente valores mais baixos em comparação com o RCCTE, tendo em vista uma nova descida a partir de 31 de dezembro de 2015, para que sejam atingidas metas do ponto de vista da sustentabilidade, da térmica e da eficiência energética, tal como é evidenciado no quadro 6.

Também com o objetivo de que sejam cada vez menos utilizados os aparelhos elétricos para ventilar, arrefecer e aquecer a habitação e recorrendo a estes aparelhos que sejam de classe energética elevada.

$U_{ref} [W / (m^2 \cdot ^\circ C)]$		Zona Climática					
		Com a entrada em vigor do REH			A partir de 31 de dezembro de 2015		
Zona corrente da envolvente		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis	Elementos opacos	0.50 (0.70)*	0.40 (0.60)*	0.35 (0.50)*	0.40	0.35	0.30
	Elementos verticais						
com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos	0.40 (0.50)*	0.35 (0.45)*	0.30 (0.40)*	0.35	0.30	0.25
	Elementos horizontais						
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis	Elementos opacos	1.00	0.80	0.70	0.80	0.70	0.60
	Elementos verticais						
Com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos	0.80	0.70	0.60	0.70	0.60	0.50
	Elementos horizontais						

*valores considerados no RCCTE

Quadro 6 – Coeficientes de transmissão térmica de referência de elementos opacos [13,14]

7. Casos Práticos

São apresentados quatro casos práticos de paredes duplas, que passo a enumerar:

- 1 – Parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 cm + 11 cm;
- 2 – Parede dupla de alvenaria tijolo maciço 11 cm + tijolo furado 11 cm;
- 3 – Parede dupla de alvenaria pedra granítica 30 cm + tijolo furado 11 cm.
- 4 – Parede simples de alvenaria pedra granítica 40 cm.

Nelas são apresentadas soluções sem isolamento, com isolamento pelo exterior, com isolamento intermédio (caixa de ar) e com isolamento pelo interior.

Dados dos Elementos:

Os coeficientes de condutibilidade térmica foram extraídos do ITE50, bem como a resistência térmica do ar, a resistência da superfície externa e a resistência da superfície interna;

As resistências térmicas dos tijolos 30x20x15 cm e 30x20x11 cm foram extraídos das tabelas da Preceram.

Os coeficientes de permeabilidade ao vapor foram retirados do manual de Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Interna de Vasco Freitas [7].

Para o cálculo do coeficiente transmissão térmica:

$$R = R_{si} + R_{se} + \sum R_j \text{ (m}^2 \cdot \text{°C/W)}$$

Em que:

R – Resistência térmica da camada j (m².°C/W)

Rsi – Resistência superfície interna ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

Rse – Resistência superfície externa ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

$$U = \frac{1}{R} (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

Em que:

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

R – Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

Tendo sido considerada a localização I2 para a cidade do Porto, os valores de referência e máximos para o coeficiente de transmissão térmica são:

	RCCTE	REH
$U_{m\acute{a}x}$	1.60	1.60
U_{ref}	0.60	0.40

Quadro 7 – Valores de referência e valores máximos do coeficiente de transmissão térmica

Para o cálculo da temperatura superficial e interna na parede:

$$Q = U \times \Delta\theta (W/m^2)$$

Em que:

Q – Caudal do ar que atravessa a parede (W/m^2)

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

$\Delta\theta$ – Variação da Temperatura ($^\circ C$)

$$Q = \frac{1}{R_{si}} \times (\theta_i - \theta_{si}) \Leftrightarrow \theta_{si} = \theta_i - Q \times R_{si} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Em que:

Q – Caudal do ar que atravessa a parede (W/m²)

R_{si} – Resistência superfície interna (m².°C/W)

θ_i – Temperatura interna (°C)

θ_{si} – Temperatura superficial interna (°C)

Para verificar se existem condensações superficiais:

$$w_i = w_{atm} + \frac{w}{n \times v} \times 0.825$$

Fórmula Fundamental do Equilíbrio Higrotérmico nos Edifícios

Em que:

w_i – Humidade absoluta interna (kg/kg)

w_{atm} – Humidade absoluta do ar exterior (kg/kg) = 3.5 x 10⁻³

w – Produção de vapor (kg/kg)

n – Número de renovações por hora

v – Volume

$\frac{w}{n \times v}$ – Parâmetro higrometria = 7 (corresponde a um parâmetro de higrometria forte, que deriva de habitações mal ventiladas).

Para verificar se existem condensações internas:

- 1.º Calcular pressões de saturação de acordo com as temperaturas obtidas anteriormente e com humidade relativa 100% (diagramas psicrométricos em anexo);
- 2.º Calcular pressões efetivas: pressão interna e pressão atmosférica que através da temperatura e da humidade relativa é obtida a pressão adequada nas unidades *mbar*, sendo o seu fator de conversão: 1 mbar = 0.75 mmHg;
- 3.º Calcular resistência à difusão do vapor

$$Rd = \frac{e}{\pi}$$

Em que:

Rd – Resistência à difusão do vapor (m².h.mmHg)

e – Espessura (m)

π – Coeficiente de permeabilidade ao vapor (g/m.h.mmHg)

- 4.º Calcular as pressões instaladas

$$P_n = P_i - \frac{Rd_1 + Rd_2 + \dots}{Rd_{total}} \times \Delta P$$

Em que:

P_n – Pressão instalada (mmHg)

P_i – Pressão interior (mmHg)

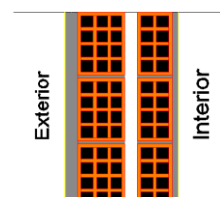
Rd_n – Resistência à difusão do vapor (m².h.mmHg)

ΔP – Variação de Pressão (mmHg)

- 5.º Comparar as pressões instaladas com as pressões de saturação e caso estas sejam superiores às instaladas, verifica-se que não existem condensações internas.

7.1. Parede Dupla Alvenaria Tijolo Furado 15 + 11 cm

Espessura



CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DA PAREDE

Elementos	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² .°C/W)	Coefficiente Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Parâmetro Higrometria	Coefficiente Permeabilidade ao Vapor (g/m.h.mmHg)x 10 ⁻⁵
Reboco Exterior (1800 ρ<math><2000 \text{ kg/m}^3</math>)	0,04	-	1,3	-	-	-	300
Tijolo Furado 30x20x15	0,15	0,42	-	-	-	-	500
Caixa de ar	0,04	0,18	-	-	-	-	10400
Tijolo Furado 30x20x11	0,11	0,29	-	-	-	-	500
Estuque Tradicional ($\rho<1000 \text{ kg/m}^3</math>)$	0,02	-	0,4	-	-	-	1200
Pintura tinta plástica interior	0,0002	-	-	-	-	-	48
Pintura tinta texturada exterior	0,001	-	-	-	-	-	7,5
Revestimento ETICS	0,005	-	0,2	-	-	-	50
EPS	0,04	-	0,037	-	-	-	300
PUR	0,04	-	0,042	-	-	-	200
Lã de Rocha	0,04	-	0,042	-	-	-	7000
Gesso Cartonado	0,012	-	0,25	-	-	-	1200
R_{se}	-	0,04	-	-	-	-	-
R_{si}	-	0,13	-	-	-	-	-
Θ_i	-	-	-	20	-	-	-
Θ_{atm}	-	-	-	2	-	-	-
$\Delta\Theta$	-	-	-	18	-	-	-
Humidade Relativa	-	-	-	-	63	-	-

Interior							
Humidade Relativa Atmosfera	-	-	-	-	80	-	-
Parâmetro Higrometria	-	-	-	-	-	7	-

Quadro 8 – Características dos elementos da parede dupla alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm espessura

	TIPO PAREDE	PE 1 - ALVENARIA TIJOLO FURADO 15 + 11 CM			
		PE 1.1 - Sem Isolamento	PE 1.2 - Com Isolamento Exterior	PE 1.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 1.4 - Com Isolamento Interior
<i>Cálculo do Coeficiente Transmissão Térmica</i>	Resistência Térmica - R (m ² .°C/W)	1,14	2,25	1,91	2,14
	Coeficiente de Transmissão Térmica - U (W/m ² .°C)	0,88	0,45	0,52	0,47
<i>Cálculo da Evolução da Temperatura na Parede</i>	Q _{PAR} (W/m ²)	15,78	8,01	9,41	8,41
	Θ _{si} (°C)	17,95	18,96	18,78	18,91
	Θ ₁ (°C)	17,16	18,56	18,31	18,50
	Θ ₂ (°C)	12,58	16,23	15,58	10,50
	Θ ₃ (°C)	9,74	14,79	6,62	10,08
	Θ ₄ (°C)	3,12	11,43	2,67	7,64
	Θ ₅ (°C)	-	11,18	-	6,13
	Θ ₆ (°C)	-	2,52	-	2,59
	Θ _{se} (°C)	2,63	2,32	2,38	2,34
Θ _{atm} (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00	
<i>Verificar se existem Condensações Superficiais</i>	w _i (g/kg)	9,275			
	Através diagrama psicrométrico: 9,275 g/kg e 100% HR	Θ _s = 13,1 °C , não há condensações superficiais, porque Θ _{si} (PE1.1; PE1.2; PE1.3; PE1.4) > Θ _s			

Quadro 9 – Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)

Está representada nas imagens seguintes a evolução da temperatura interna na parede conforme o isolamento que lhe é aplicado.

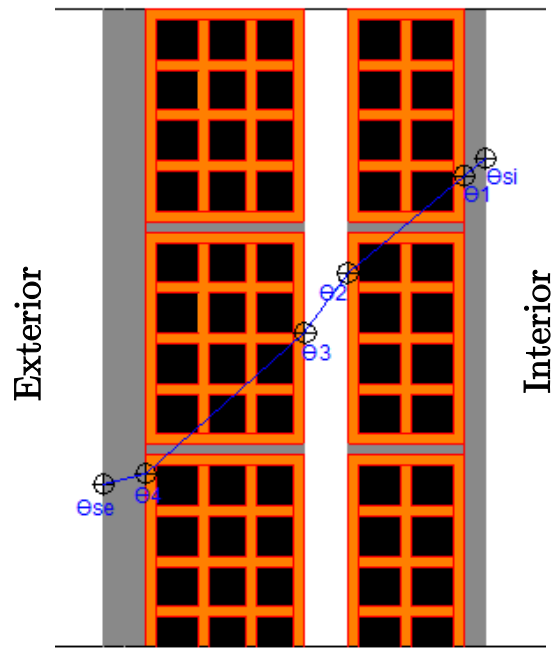


Figura 38 – Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – sem isolamento

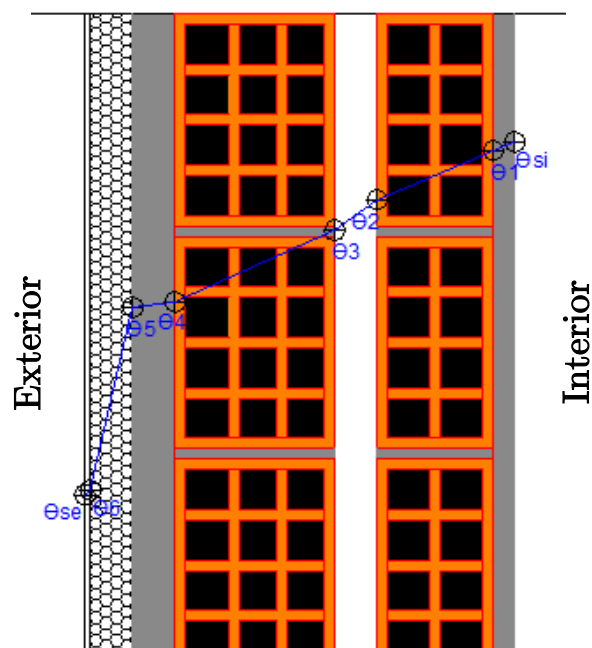


Figura 39 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – com isolamento pelo exterior

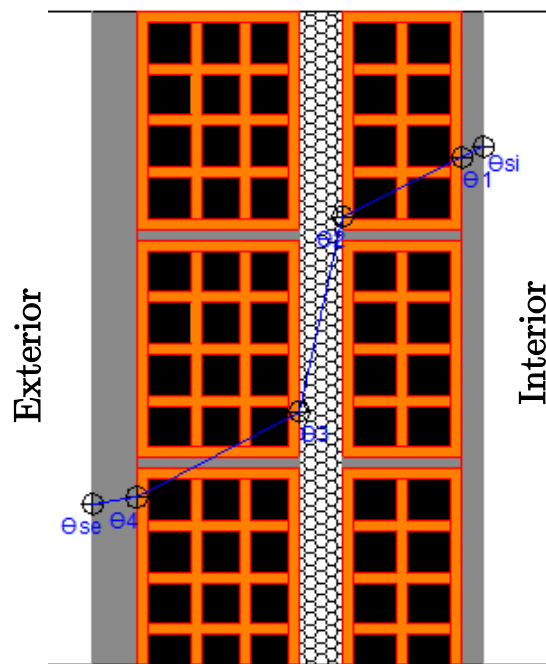


Figura 40 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – com isolamento intermédio

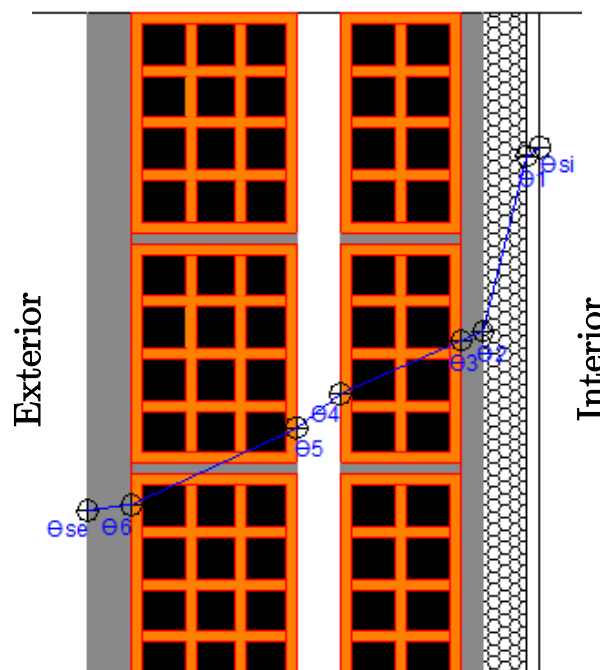


Figura 41 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE1 – com isolamento pelo interior

TIPO PAREDE	PE 1 - ALVENARIA TIJOLO FURADO 15 + 11 CM				
	PE 1.1 - Sem Isolamento	PE 1.2 - Com Isolamento Exterior	PE 1.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 1.4 - Com Isolamento Interior	
<i>Verificar se existem Condensações Internas</i>	Pressões Saturação: HR=100%				
	Psi (mmHg)	15,45	16,43	16,28	16,43
	Ps1 (mmHg)	14,70	15,98	15,75	16,05
	Ps2 (mmHg)	10,80	13,88	13,35	9,23
	Ps3 (mmHg)	8,85	12,60	7,28	9,08
	Ps4 (mmHg)	5,78	9,98	5,55	7,73
	Ps5 (mmHg)	-	9,75	-	7,05
	Ps6 (mmHg)	-	5,48	-	5,48
	Pse (mmHg)	5,48	5,33	5,33	5,33
	Psatm (mmHg)	5,25	5,25	5,25	5,25
	Resistência à Difusão do Vapor				
	Rd _{1*}	0,42	0,42	0,42	0,42
	Rd ₁	1,67	1,67	1,67	1,00
	Rd ₂	22,00	22,00	22,00	0,57
	Rd ₃	0,38	0,38	20,00	1,67
	Rd ₄	30,00	30,00	30,00	22,00
	Rd ₅	13,33	13,33	13,33	0,38
	Rd ₆	-	13,33	-	30,00
	Rd ₇	-	10,00	-	13,33
	Rd _{7*}	13,33	13,33	13,33	13,33
	∑ Rd	81,13	104,47	100,75	82,71
	Pressões Efetivas e Pressões Instaladas				
	P _i (mmHg)	11,10			ΔP
	P _{atm} (mmHg)	3,98			7,12
	P ₁	10,92	10,96	10,95	10,98
	P ₂	8,99	9,46	9,40	10,93
	P ₃	8,95	9,43	7,98	10,79
P ₄	6,32	7,39	5,86	8,89	
P ₅	3,98	6,48	3,98	8,86	
P ₆	-	5,57	-	6,28	
P ₇	-	3,98	-	3,98	
Verificação (P < Ps)	Não Verifica*	Não Verifica*	Não Verifica*	Não Verifica*	

Quadro 10 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm (verificação da existência de condensações internas)

7.1.1. Análise dos Resultados

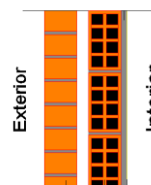
Quando a parede se encontra no seu estado de construção inicial, sem isolamento, há ocorrência de condensações na caixa de ar e no tijolo furado 30x20x15 cm;

Caso haja intenção de aplicar isolamento pelo exterior, há probabilidades de ocorrência de condensações no isolamento em EPS (sistema “Cappotto”);

No caso de se adotar isolamento intermédio, as condensações ocorrerão no isolamento injetado, espuma de poliuretano, e no tijolo furado do pano exterior;

Por último e o mais gravoso, existem condensações desde o isolamento, lã de rocha, até ao tijolo furado do pano exterior quando aplicado o isolamento pelo interior.

7.2. Parede Dupla Alvenaria Tijolo Maciço 11 cm Espessura + Tijolo Furado 11 cm Espessura



CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS DA PAREDE							
Elementos	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² .°C/W)	Coefficiente Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Parâmetro Higrometria	Coefficiente Permeabilidade ao Vapor (g/m.h.mmHg)x10 ⁻⁵
Tijolo Maciço 22x7x11	0,11	0,159	-	-	-	-	900
Caixa de ar	0,04	0,18	-	-	-	-	10400
Tijolo Furado 30x20x11	0,11	0,29	-	-	-	-	500
Estuque Tradicional (ρ<1000 kg/m3)	0,02	-	0,4	-	-	-	1200
Pintura tinta plástica interior	0,0002	-	-	-	-	-	48
PUR	0,04	-	0,042	-	-	-	200
Lã de Rocha	0,04	-	0,042	-	-	-	7000

Gesso Cartonado	0,012	-	0,25	-	-	-	1200
R_{se}	-	0,04	-	-	-	-	-
R_{si}	-	0,13	-	-	-	-	-
Θ_1	-	-	-	20	-	-	-
Θ_{atm}	-	-	-	2	-	-	-
$\Delta\Theta$	-	-	-	18	-	-	-
Humidade Relativa Interior	-	-	-	-	63	-	-
Humidade Relativa Atmosfera	-	-	-	-	80	-	-
Parâmetro Higrometria	-	-	-	-	-	7	-

Quadro 11 - Características dos elementos da parede dupla alvenaria tijolo maciço 11 cm espessura + tijolo furado 11 cm espessura

	TIPO PAREDE	PE 2 - TIJOLO MACIÇO 11 + TIJOLO 11 CM			
		PE 2.1 - Sem Isolamento	PE 2.2 - Com Isolamento Exterior	PE 2.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 2.4 - Com Isolamento Interior
<i>Cálculo do Coeficiente de Transmissão Térmica</i>	Resistência Térmica - R (m ² .°C/W)	0,85	-	1,62	1,85
	Coefficiente de Transmissão Térmica - U (W/m ² .°C)	1,18	-	0,62	0,54
<i>Cálculo da Evolução da Temperatura na Parede</i>	Q_{PAR} (W/m ²)	21,20	-	11,10	9,73
	Θ_{si} (°C)	17,24	-	18,56	18,73
	Θ_1 (°C)	16,18	-	18,00	18,27
	Θ_2 (°C)	10,04	-	14,78	9,00
	Θ_3 (°C)	6,22	-	4,21	8,51
	Θ_4 (°C)	-	-	-	5,69
	Θ_5 (°C)	-	-	-	3,94
	Θ_{se} (°C)	2,85	-	2,44	2,39
	Θ_{atm} (°C)	2,00	-	2,00	2,00
<i>Verificar se existem Condensações Superficiais</i>	w_1 (g/kg)	9,275			
	Através diagrama psicrométrico: 9,275 g/kg e 100% HR	$\Theta_s = 13.1$ °C , não há condensações superficiais, porque Θ_{si} (PE1.1; PE1.2; PE1.3; PE1.4) > Θ_s			

Quadro 12 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo maciço 11 + tijolo furado 11 (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)

Está representada nas imagens seguintes a evolução da temperatura interna na parede conforme o isolamento que lhe é aplicado.

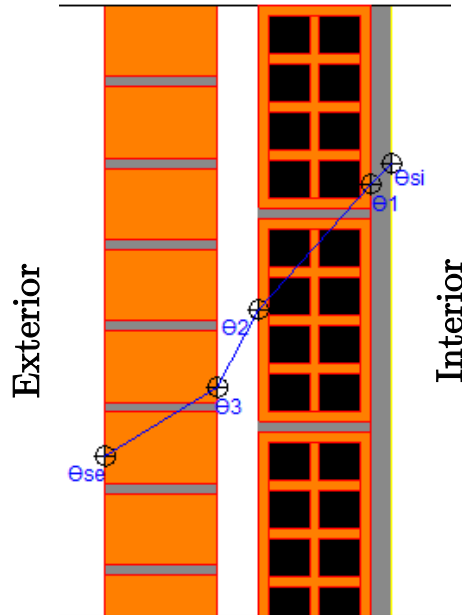


Figura 42 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE2 – sem isolamento

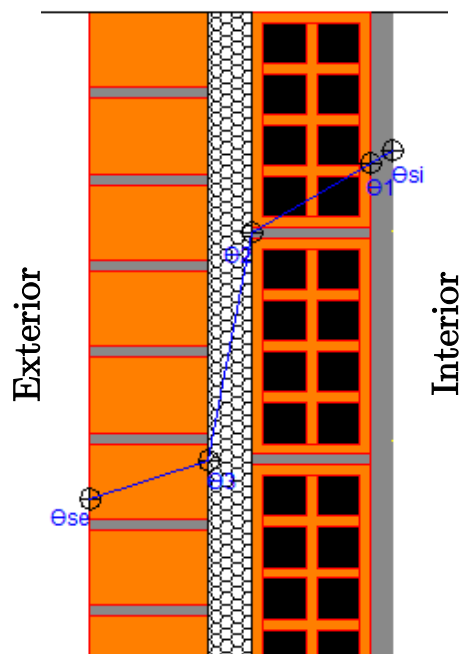


Figura 43 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE2 – com isolamento intermédio

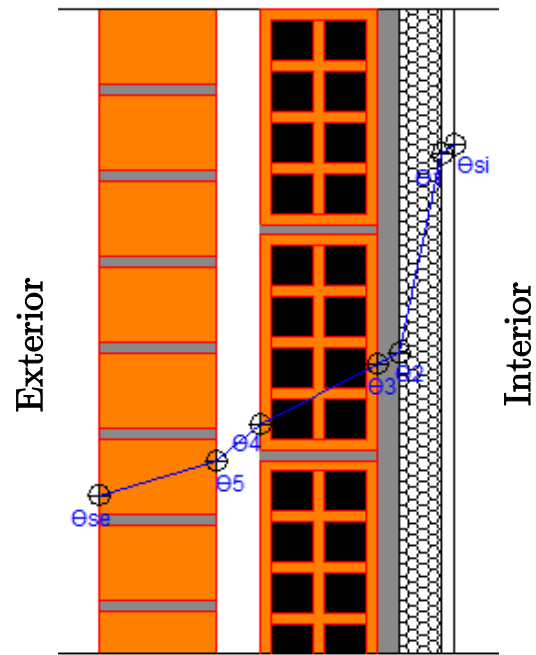


Figura 44 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE2 – com isolamento pelo interior

TIPO PAREDE	PE 2 - TIJOLO MACIÇO 11 + TIJOLO 11 CM				
	PE 2.1 - Sem Isolamento	PE 2.2 - Com Isolamento Exterior	PE 2.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 2.4 - Com Isolamento Interior	
<i>Verificar se existem Condensações Internas</i>	Pressões Saturação: HR=100% (através do digrama psicrométrico)				
	Psi (mmHg)	14,70	-	16,05	16,20
	Ps1 (mmHg)	13,88	-	15,45	15,75
	Ps2 (mmHg)	9,08	-	12,53	8,48
	Ps3 (mmHg)	6,98	-	6,08	8,29
	Ps4 (mmHg)	-	-	-	6,75
	Ps5 (mmHg)	-	-	-	5,93
	Pse (mmHg)	5,48	-	5,40	5,33
	Psatm (mmHg)	5,25	-	5,25	5,25
	Resistência à Difusão do Vapor				
	Rd _{1*}	0,42	-	0,42	0,42
	Rd ₁	1,67	-	1,67	1,00
	Rd ₂	22,00	-	22,00	0,57
	Rd ₃	0,38	-	20,00	1,67
	Rd ₄	12,22	-	12,22	x22,00
	Rd ₅	-	-	-	0,38
	Rd ₆	-	-	-	12,22
	Σ Rd	36,69	-	56,31	38,26
	Pressões Efetivas e Pressões Instaladas				
	P _i (mmHg)	11.1			ΔP
	P _{atm} (mmHg)	3,98			7,12
	P ₁	10,70	-	10,84	10,84
	P ₂	6,42	-	8,05	10,73
	P ₃	6,35	-	5,52	10,42
	P ₄	3,98	-	3,98	6,32
	P ₅	-	-	-	6,25
	P ₆	-	-	-	3,98
Verificação (P<Ps)	Verifica	-	Verifica	Não Verifica*	

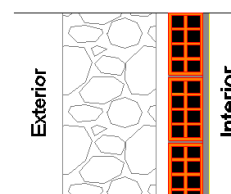
Quadro 13 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo maciço 11 cm espessura + tijolo furado 11 cm espessura (verificação da existência de condensações internas)

7.2.1. Análise dos Resultados

Quando aplicado o isolamento pelo interior, irão existir condensações desde o isolamento, lâ de rocha, até à caixa de ar;

Nos outros casos não há ocorrência de condensações internas evidenciadas.

7.3. Parede Dupla Alvenaria Pedra Granítica 30 cm Espessura + Tijolo Furado 11 cm Espessura



CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS DA PAREDE							
Elementos	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² .°C/W)	Coefficiente Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Parâmetro Higrometria	Coefficiente Permeabilidade ao Vapor (g/m.h.mmHg)x10 ⁻⁵
Reboco Exterior (1800 ρ <math>< 2000 \text{ kg/m}^3</math>)	0,04	-	1,3	-	-	-	300
Pedra Granito (2500 ρ <math>< 2700 \text{ kg/m}^3</math>)	0,3	-	2,8	-	-	-	315
Caixa de ar	0,04	0,18	-	-	-	-	10400
Tijolo Furado 30x20x11	0,11	0,29	-	-	-	-	500
Estuque Tradicional (<math>\rho<1000 \text{ kg/m}^3</math>)	0,02	-	0,4	-	-	-	1200
Pintura tinta plástica interior	0,0002	-	-	-	-	-	48
Pintura tinta texturada exterior	0,001	-	-	-	-	-	7,5
Revestimento ETICS	0,005	-	0,2	-	-	-	50
EPS	0,04	-	0,037	-	-	-	300

PUR	0,04	-	0,042	-	-	-	200
Lã de Rocha	0,04	-	0,042	-	-	-	7000
Gesso Cartonado	0,012	-	0,25	-	-	-	1200
R_{se}	-	0,04	-	-	-	-	-
R_{si}	-	0,13	-	-	-	-	-
$\Theta_i=20\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	-	20	-	-	-
$\Theta_{atm}=2\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	-	2	-	-	-
$\Delta\Theta$	-	-	-	18	-	-	-
Humidade Relativa Interior	-	-	-	-	63	-	-
Humidade Relativa Atmosfera	-	-	-	-	80	-	-
Parâmetro Higrometria	-	-	-	-	-	7	-

Quadro 14 - Características dos elementos da parede dupla alvenaria pedra granítica 30 cm + tijolo furado 11 cm

		PE 3 – ALVENARIA PEDRA 30 + TIJOLO FURADO 11 CM				
		TIPO PAREDE	PE 3.1 - Sem Isolamento	PE 3.2 - Com Isolamento Exterior	PE 3.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 3.4 - Com Isolamento Interior
<i>Cálculo do Coeficiente Transmissão Térmica</i>	Resistência Térmica - R (m ² .°C/W)		0,83	1,93	1,60	1,83
	Coeficiente de Transmissão Térmica - U (W/m ² .°C)		1,21	0,52	0,62	0,55
<i>Cálculo da Evolução da Temperatura na Parede</i>	Q_{PAR} (W/m ²)		21,74	9,31	11,25	9,85
	Θ_{si} (°C)		17,17	18,79	18,54	18,72
	Θ_1 (°C)		16,09	18,32	17,98	18,25
	Θ_2 (°C)		9,78	15,63	14,71	8,87
	Θ_3 (°C)		5,87	13,95	4,00	8,38
	Θ_4 (°C)		-	12,95	-	5,52
	Θ_5 (°C)		-	12,67	-	3,75
Θ_6 (°C)		-	2,60	-	-	

	Θ_{se} (°C)	3,54	2,37	2,45	2,70
	Θ_{atm} (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00
Verificar se existem	w_i (g/kg)	9,275			
Condensações Superficiais	Através diagrama psicrométrico: 9,275 g/kg e 100% HR	$\Theta_s = 13.1^\circ\text{C}$, não há condensações superficiais, porque Θ_{si} (PE1.1; PE1.2; PE1.3; PE1.4) > Θ_s			

Quadro 15 - Resultados para a parede dupla de alvenaria pedra granítica 30 cm + tijolo furado 11 cm espessura (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)

Está representada nas imagens seguintes a evolução da temperatura interna na parede conforme o isolamento que lhe é aplicado.

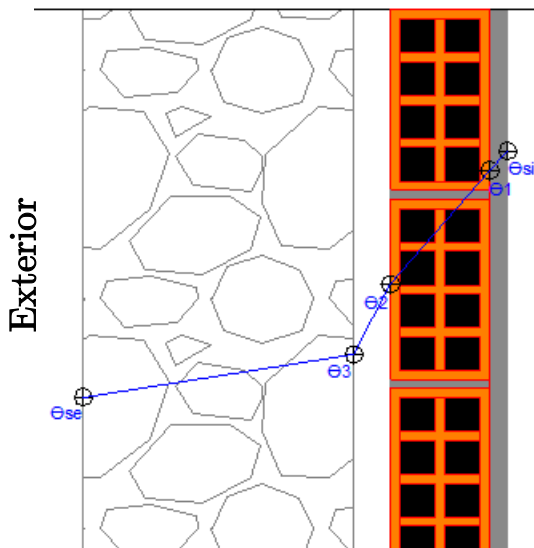


Figura 45 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – Sem isolamento

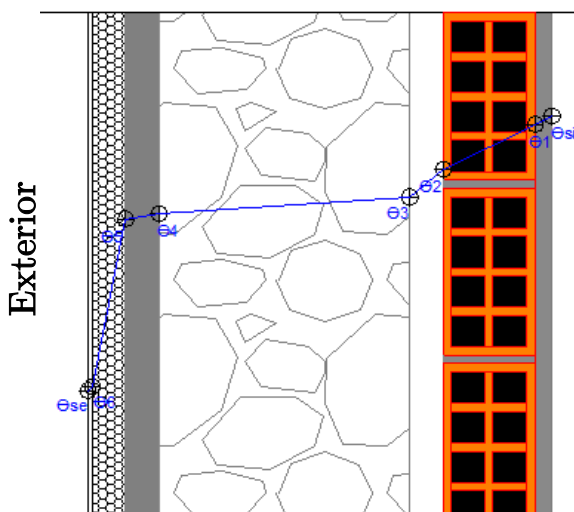


Figura 46 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – Com isolamento pelo exterior

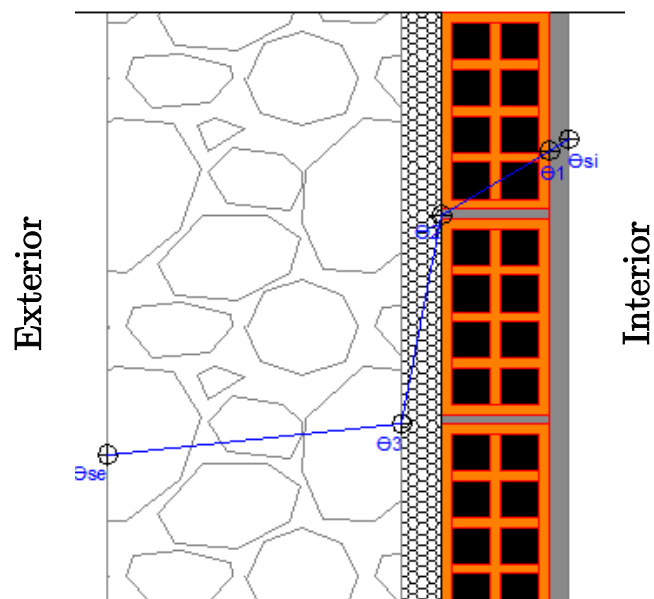


Figura 47 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – com isolamento intermédio

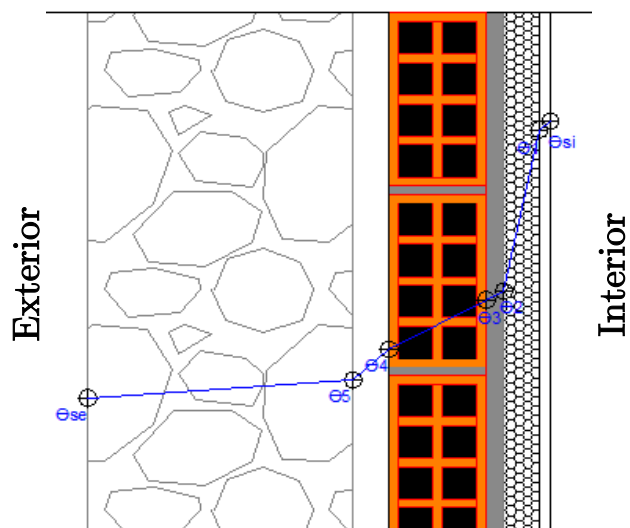


Figura 48 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE3 – com isolamento pelo interior

TIPO PAREDE	PE 3 – ALVENARIA PEDRA 30 + TIJOLO FURADO 11 CM				
	PE 3.1 - Sem Isolamento	PE 3.2 - Com Isolamento Exterior	PE 3.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 3.4 - Com Isolamento Interior	
<i>Verificar se existem Condensações Internas</i>	Pressões Saturação: HR=100% (através do digrama psicrométrico)				
	Psi (mmHg)	14,78	16,28	16,05	16,35
	Ps1 (mmHg)	13,88	15,90	15,45	15,75
	Ps2 (mmHg)	8,93	13,35	12,53	8,40
	Ps3 (mmHg)	6,90	11,78	6,00	8,10
	Ps4 (mmHg)	-	11,10	-	6,68
	Ps5 (mmHg)	-	10,80	-	5,93
	Ps6 (mmHg)	-	5,48	-	-
	Pse (mmHg)	5,85	5,33	5,40	5,48
	Psatm (mmHg)	5,25	5,25	5,25	5,25
	Resistência à Difusão do Vapor				
	Rd _{1*}	0,42	0,42	0,42	0,42
	Rd ₁	1,67	1,67	1,67	1,00
	Rd ₂	22,00	22,00	22,00	0,57
	Rd ₃	0,38	0,38	20,00	1,67
	Rd ₄	95,24	95,24	95,24	22,00
	Rd ₅	-	13,33	-	0,38
	Rd ₆	-	13,33	-	95,24
	Rd ₇	-	10,00	-	-
	Rd _{7*}	-	13,33	-	-
	∑ Rd	119,71	169,71	139,32	121,28
	Pressões Efetivas e Pressões Instaladas				
	Pi (mmHg)	11,10			ΔP 7,12
	Patm (mmHg)	3,98			
	P ₁	10,98	11,01	10,99	11,02
	P ₂	9,67	10,09	9,87	10,98
	P ₃	9,64	10,07	8,85	10,89
P ₄	3,98	6,07	3,98	9,59	
P ₅	-	5,51	-	9,57	
P ₆	-	4,95	-	3,98	

	P ₇	-	3,98	-	-
	Verificação (P<P _s)	Não Verifica*	Verifica	Não Verifica*	Não Verifica*

Quadro 16 - Resultados para a parede dupla de alvenaria pedra 30 cm + tijolo furado 11 cm
(verificação da existência de condensações internas)

7.3.1. Análise dos Resultados

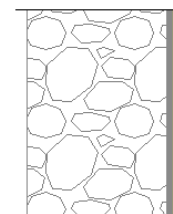
Quando não há presença de isolamento, existem condensações entre a caixa de ar e o tijolo furado 30x20x11 cm;

Na presença do isolamento intermédio, existem condensações no isolamento injetado *in situ*, espuma de poliuretano;

Quando colocado o isolamento pelo interior, verifica-se que há condensações desde o isolamento (lã de rocha) até à caixa de ar;

Quando sujeito ao isolamento pelo exterior não são verificadas condensações internas.

7.4. Parede Simples de Alvenaria de Pedra Granítica 40 cm Espessura



CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DA PAREDE							
Elementos	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² .°C/W)	Coefficiente Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Parâmetro Higrometria	Coefficiente Permeabilidade ao Vapor (g/m.h.mmHg)x10 ⁻⁵
Pedra Granito (2500 ρ <math>< 2700</math> kg/m ³)	0,4	-	2,8	-	-	-	315

Caixa de ar	0,04	0,18	-	-	-	-	10400
Estuque Tradicional ($\rho < 1000 \text{ kg/m}^3$)	0,02	-	0,4	-	-	-	1200
Pintura tinta plástica interior	0,0002	-	-	-	-	-	48
Lã de Rocha	0,04	-	0,042	-	-	-	7000
Gesso Cartonado	0,012	-	0,25	-	-	-	1200
R_{se}	-	0,04	-	-	-	-	-
R_{si}	-	0,13	-	-	-	-	-
$\Theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	-	20	-	-	-
$\Theta_{atm} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	-	2	-	-	-
$\Delta\Theta$	-	-	-	18	-	-	-
Humidade Relativa Interior	-	-	-	-	63	-	-
Humidade Relativa Atmosfera	-	-	-	-	80	-	-
Parâmetro Higrometria	-	-	-	-	-	7	-

Quadro 17 - Características dos elementos da parede simples alvenaria pedra granítica de 40 cm espessura

	TIPO PAREDE	PE 4 – PEDRA GRANÍTICA 40 CM			
		PE 4.1 - Sem Isolamento	PE 4.2 - Só Gesso Cartonado	PE 4.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 4.4 - Com Isolamento Interior
<i>Cálculo do Coeficiente de Transmissão Térmica</i>	Resistência Térmica - R ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	0,36	0,54	-	1,36
	Coeficiente de Transmissão Térmica - U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	2,76	1,85	-	0,73
<i>Cálculo da Evolução da Temperatura</i>	Q_{PAR} (W/m^2)	49,61	33,28	-	13,20
	Θ_{si} ($^\circ\text{C}$)	13,55	15,67	-	18,28
	Θ_1 ($^\circ\text{C}$)	11,07	14,08	-	17,65

<i>na Parede</i>	Θ_2 (°C)	-	8,09	-	5,07
	Θ_3 (°C)	-	-	-	4,41
	Θ_{se} (°C)	3,98	3,33	-	2,53
	Θ_{atm} (°C)	2,00	2,00	-	2,00
<i>Verificar se existem Condensações Superficiais</i>	w_i (g/kg)	9,275			
	Através diagrama psicrométrico: 9,275 g/kg e 100% HRsat	$\Theta_s = 13,1^\circ\text{C}$, não há condensações superficiais, porque Θ_{si} (PE3.1; PE3.2; PE3.4) > Θ_s			

Quadro 18 - Resultados para a parede simples de alvenaria pedra granítica de 40 cm espessura (U, temperatura na parede e verificação da existência de condensações superficiais)

Está representada nas imagens seguintes a evolução da temperatura interna na parede conforme o isolamento que lhe é aplicado.

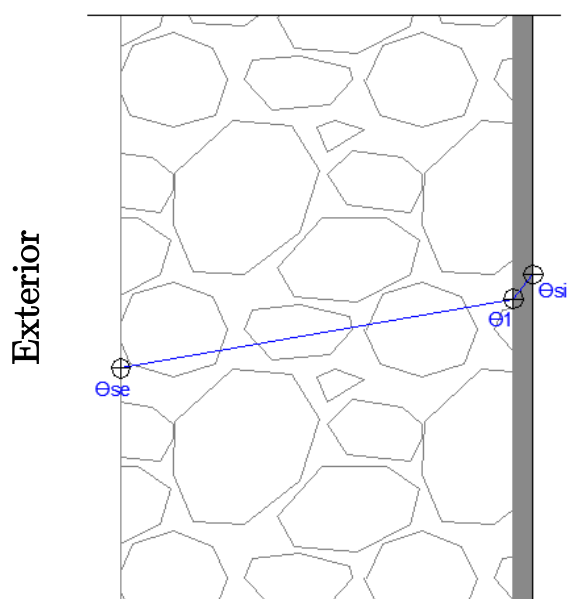


Figura 49 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE4 – sem isolamento

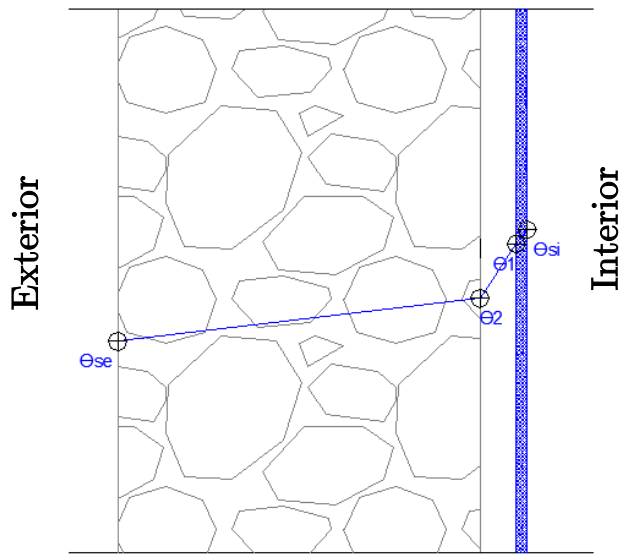


Figura 50 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE4 – só com isolamento gesso cartonado

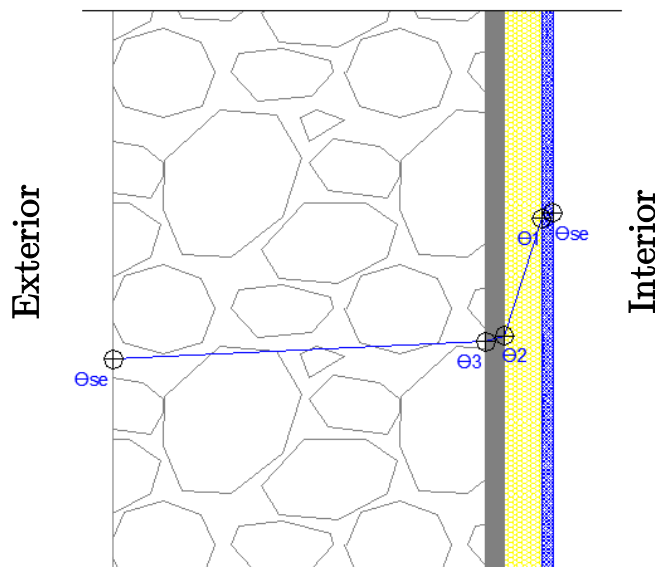


Figura 51 - Corte esquemático com a evolução da temperatura em PE4 – com isolamento interior

TIPO PAREDE	PE 4 – PEDRA GRANÍTICA 40 cm				
	PE 4.1 - Sem Isolamento	PE 4.2 - S6 Gesso Cartonado	PE 4.3 – Não se aplica	PE 4.4 - Com Isolamento Interior	
<i>Verificar se existem Condensações Internas</i>	Pressões Saturação: HR=100% (através do digrama psicrométrico)				
	Psi (mmHg)	11,48	13,43	-	15,83
	Ps1 (mmHg)	9,75	11,93	-	15,15
	Ps2 (mmHg)	-	8,10	-	6,60
	Ps3 (mmHg)	-	-	-	6,15
	Pse (mmHg)	6,00	5,85	-	5,40
	Psatm (mmHg)	5,25	5,25	-	5,25
	Resistência à Difusão do Vapor				
	Rd _{1*}	0,42	0,42	-	0,42
	Rd ₁	1,67	1,00	-	1,00
	Rd ₂	-	0,38	-	0,57
	Rd ₃	-	-	-	1,67
	Rd _{4*}	126,98	126,98	-	126,98
	∑ Rd	129,07	128,79	-	130,64
	Pressões Efetivas e Pressões Instaladas				
	Pi (mmHg)	11,10			ΔP
	Patm (mmHg)	3,98			7,12
	P ₁	10,99	11,02	-	11,02
	P ₂	3,98	11,00	-	10,99
	P ₃	-	-	-	10,90
	P ₄	-	3,98	-	3,98
Verificação (P<Ps)	Não Verifica	Não Verifica*	-	Não Verifica*	

Quadro 19 - Resultados para a parede simples de alvenaria pedra 40 cm de espessura (verificação da existência de condensações internas)

7.4.1. Análise dos Resultados

Quando a parede encontra-se tal como foi construída, sem isolamento, há condensações no estuque tradicional;

Quando é aplicado gesso cartonado, deixando caixa de ar, há condensações nesta;

E, por fim, quando é colocado isolamento pelo interior a parede sofre condensações internas no isolamento e no estuque tradicional.

Caso o paramento exterior seja revestido a tinta de borracha, existirão condensações na parede dupla de alvenaria de tijolo furado de 15 + 11 cm?

CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS DA PAREDE							
Elementos	Espessura (m)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Coeficiente de Condutibilidade de Térmica ($W/m \cdot ^\circ C$)	Temperatura ($^\circ C$)	Humidade Relativa (%)	Parâmetro Higrometria	Coeficiente Permeabilidade de ao Vapor ($g/m \cdot h \cdot mmH$) $g) \times 10^{-5}$
Reboco Exterior (1800 $<\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$)	0,04	-	1,3	-	-	-	300
Tijolo Furado 30x20x15	0,15	0,42	-	-	-	-	500
Caixa de ar	0,04	0,18	-	-	-	-	10400
Tijolo Furado 30x20x11	0,11	0,29	-	-	-	-	500
Estuque Tradicional ($\rho < 1000 \text{ kg/m}^3$)	0,02	-	0,4	-	-	-	1200
Pintura tinta plástica interior	0,0002	-	-	-	-	-	48
Pintura tinta borracha exterior	0,001	-	-	-	-	-	0,84
Revestimento ETICS	0,005	-	0,2	-	-	-	50
EPS	0,04	-	0,037	-	-	-	300
PUR	0,04	-	0,042	-	-	-	200
Lã de Rocha	0,04	-	0,042	-	-	-	7000
Gesso Cartonado	0,012	-	0,25	-	-	-	1200
R_{se}	-	0,04	-	-	-	-	-
R_{si}	-	0,13	-	-	-	-	-
$\Theta_i = 20 \text{ }^\circ C$	-	-	-	20	-	-	-

$\Theta_{atm}=2\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	-	-	2	-	-	-
$\Delta\Theta$	-	-	-	18	-	-	-
Humidade Relativa Interior	-	-	-	-	63	-	-
Humidade Relativa Atmosfera	-	-	-	-	80	-	-
Parâmetro Higrometria	-	-	-	-	-	7	-

Quadro 20 – Características dos elementos da parede dupla alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm espessura

TIPO PAREDE	PE 1 - ALVENARIA TIJOLO FURADO 15 + 11 CM				
	PE 1.1 - Sem Isolamento	PE 1.2 - Com Isolamento Exterior	PE 1.3 - Com Isolamento Intermédio	PE 1.4 - Com Isolamento Interior	
<i>Verificar se existem Condensações Internas</i>	Pressões Saturação: HR=100% (através do digrama psicrométrico)				
	Psi (mmHg)	15,45	16,43	16,28	16,43
	Ps1 (mmHg)	14,70	15,98	15,75	16,05
	Ps2 (mmHg)	10,80	13,88	13,35	9,23
	Ps3 (mmHg)	8,85	12,60	7,28	9,08
	Ps4 (mmHg)	5,78	9,98	5,55	7,73
	Ps5 (mmHg)	-	9,75	-	7,05
	Ps6 (mmHg)	-	5,48	-	5,48
	Pse (mmHg)	5,48	5,33	5,33	5,33
	Psatm (mmHg)	5,25	5,25	5,25	5,25
	Resistência à Difusão do Vapor				
	Rd _{1*}	0,42	0,42	0,42	0,42
	Rd ₁	1,67	1,67	1,67	1,00
	Rd ₂	22,00	22,00	22,00	0,57
	Rd ₃	0,38	0,38	20,00	1,67
	Rd ₄	30,00	30,00	30,00	22,00
	Rd ₅	13,33	13,33	13,33	0,38
	Rd ₆	-	13,33	-	30,00
	Rd ₇	-	10,00	-	13,33
Rd _{7*}	119,05	119,05	119,05	119,05	

	ΣR_d	186,85	210,18	206,46	188,42	
	Pressões Efetivas e Pressões Instaladas					
	P_i (mmHg)	11,10				ΔP
	P_{atm} (mmHg)	3,98				7,12
	P_1	11,02	11,03	11,03	11,05	
	P_2	10,18	10,28	10,27	11,02	
	P_3	10,17	10,27	9,58	10,96	
	P_4	9,02	9,25	8,54	10,13	
	P_5	3,98	8,80	3,98	10,12	
	P_6	-	8,35	-	8,98	
	P_7	-	3,98	-	3,98	
	Verificação ($P < P_s$)	Não Verifica*	Não Verifica*	Não Verifica*	Não Verifica*	

Quadro 21 - Resultados para a parede dupla de alvenaria tijolo furado 15 + 11 cm espessura (verificação da existência de condensações internas quando aplicada tinta de borracha no exterior)

Análise dos Resultados

Para a parede sem isolamento e aplicando uma tinta de borracha existe condensações entre a caixa de ar e o tijolo do pano exterior;

No caso do isolamento pelo exterior, irá ocorrer condensações no isolamento – EPS.

Já na parede com isolamento intermédio as condensações ocorrem no isolamento – espuma de poliuretano injetado – e no pano de alvenaria exterior.

Por último, a parede isolada pelo interior sofrerá condensações internas, desde o isolamento – lã de rocha – até à caixa de ar, inclusive.

8. Casos Práticos – Programa *Condensa 13788*

Ainda com os mesmos casos práticos estudados anteriormente, mas com recurso a um programa de cálculo, designado *Condensa 13788*.

- 1 – Parede dupla alvenaria tijolo furado 15 cm espessura + 11 cm espessura;
- 2 – Parede dupla alvenaria tijolo maciço 11 cm espessura + tijolo furado 11 cm espessura;
- 3 – Parede dupla alvenaria pedra granítica 30 cm espessura + tijolo furado 11 cm espessura;
- 4 – Parede simples alvenaria pedra granítica 40 cm espessura.

O programa *Condensa 13788* foi desenvolvido tendo em vista a avaliação da probabilidade de ocorrência de condensações internas e da sua evaporação em elementos de construção.

Este programa não poderá ser visto como uma ferramenta capaz de prever com exatidão as quantidades de humidade condensadas e/ou evaporadas em qualquer elemento de construção.

Os resultados obtidos nas análises efetuadas por este programa deverão ser considerados como uma aproximação à realidade e ser utilizados para, do ponto de vista do comportamento higrométrico, comparar diferentes elementos de construção e/ou avaliar os efeitos de possíveis modificações na constituição de cada elemento.

O método de cálculo utilizado no programa *Condensa 13788* corresponde à análise preconizada na norma EN13788.

8.1. Análise dos Resultados

No quadro seguinte, estão descritos os quatro casos práticos em estudo onde há probabilidade de ocorrência de condensações internas.

Tipo Parede	Sem isolamento	Com isolamento	Com isolamento	Com isolamento
		exterior	intermédio	interior
Dupla de tijolo furado 15+11 cm	Não ocorre	Não ocorre	Condensação entre a caixa-de-ar e o tijolo 15cm	Condensação entre a caixa-de-ar e o tijolo 11cm
Dupla de tijolo maciço 11 cm + tijolo furado 11 cm	Condensação entre a caixa-de-ar e o tijolo 11cm	-	Condensação entre o isolamento e o tijolo maciço	Condensação em todo o pano de tijolo 11cm
Dupla de pedra 30 cm + tijolo furado 11 cm	Condensação entre a caixa-de-ar e o tijolo 11cm	Não ocorre	Condensação entre a pedra e o isolamento	Condensação no tijolo 11cm
-	Sem isolamento	Com gesso cartonado	Com isolamento interior	-
Simplex de Pedra 40 cm	Condensação entre a pedra e o reboco interior	Não ocorre	Não ocorre	-

Quadro 22 – Resumo dos resultados do programa *Condensa 13788*

No anexo Q estão os dados, os resultados e os gráficos obtidos através do programa de cálculo *Condensa 13788*.

9. Conclusão

9.1. Considerações Finais

Esta monografia foi desenvolvida tendo em conta vários conceitos sobre a reabilitação de fachadas, dando especial importância aos edifícios antigos, uma vez que serão, em regra, estes os mais necessitados de reabilitação. Foram apresentadas várias soluções correntes de reabilitação, destacando-se os campos de aplicação de cada uma, as suas vantagens, inconvenientes e também a sua qualidade a nível de desempenho térmico, tendo em conta os coeficientes de transmissão térmica de cada uma das soluções e a ocorrência de condensações internas.

A reabilitação térmica de um edifício não deve atuar de forma isolada, isto é, não faz sentido reabilitar do ponto de vista térmico apenas um elemento da construção, ou uma parede ou um andar. A reabilitação térmica nas fachadas de um edifício deve ser executada de uma forma conjunta, procedendo à remoção de caixilharias degradadas e que provavelmente ainda são de madeira e não têm qualquer corte térmico, por caixilharia de alumínio, PVC ou madeira com vidro duplo, com coeficiente de emissividade baixo e corte térmico. Assim, irá ser proporcionado na fachada um conjunto de soluções, que atuarão no sentido de promover o conforto dos utentes e a qualidade térmica da envolvente.

Portanto, e dado que uma parte importante das perdas térmicas é efetuada através dos envidraçados, se a caixilharia estiver em bom estado e o comportar, é suficiente trocar o vidro simples por um vidro duplo com uma qualidade superior. Outro aspeto com importância é as caixas de estore que, em geral, constituem uma ponte térmica plana penalizadora termicamente, pelo que devem ser substituídas por outras com bom

comportamento térmico. Se existir espaço para o efeito, uma projeção interna com poliuretano projetado pode ser uma solução a considerar.

Para a realização dos casos práticos apresentados nos capítulos 7 e 8, foi determinante conhecer as características dos elementos que constituem as paredes, desde a condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor, até à resistência térmica.

Para uma correta análise térmica da parede, não basta determinar o coeficiente de transmissão térmica global do elemento, que é importante para os requisitos mínimos, mas também o desempenho higrotérmico, verificando a existência de condensações internas e/ou superficiais.

De acordo com o novo D.L. n.º 118/2013 de 20 de Agosto, o coeficiente de transmissão térmica de referência baixou de $0.60 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ (coeficiente previsto no RCCTE) para $0.40 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e num futuro próximo passará a ser considerado $0.35 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, isto para a zona geográfica I2 (zona do Porto) nos elementos opacos verticais.

9.2. Análise Crítica dos Resultados

Quando se toma a decisão de proceder à reabilitação da fachada esta deve ser coerente e construtivamente exequível. As paredes não são todas iguais nem têm todas as mesmas características, daí serem ponderados os aspetos a ter em conta na escolha das técnicas a serem aplicadas, garantindo sempre a relação entre qualidade, custos e durabilidade.

Os quadros seguintes são um resumo sucinto dos cálculos que foram efetuados anteriormente, fazendo uma comparação entre os resultados obtidos através dos cálculos e os resultados obtidos através do programa de cálculo automático *Condensa 13788*.

	Cálculos	Condensa	Cálculos	Condensa	Cálculos	Condensa	Cálculos	Condensa
Tipo Parede	Sem isolamento		Com isolamento exterior		Com isolamento intermédio		Com isolamento interior	
Tijolo 15 cm + 11 cm	U=0.88 Existe	Não existe	U=0.45 Existe	Não existe	U=0.52 Existe	Existe	U=0.47 Existe	Existe
Tijolo maciço 11 cm + tijolo furado 11 cm	U=1.18 Não existe	Existe	-	-	U=0.62 Não existe	Existe	U=0.54 Existe	Existe
Pedra granito 30 cm + tijolo 11 cm	U=1.21 Existe	Existe	U=0.52 Não existe	Não existe	U=0.62 Existe	Existe	U=0.55 Existe	Existe

Quadro 23 – Quadro síntese dos resultados obtidos relativamente à ocorrência de condensações internas nas paredes duplas

	Cálculos	Condensa	Cálculos	Condensa	Cálculos	Condensa
Tipo Parede	Sem isolamento		Gesso cartonado		Com isolamento interior	
Pedra de granito 40 cm	U=2.76 Existe	Existe	U=1.85 Existe	Não existe	U=0.73 Existe	Não existe

Quadro 24 - Quadro síntese dos resultados obtidos relativamente à ocorrência de condensações internas na parede simples

No que concerne ao coeficiente de transmissão térmica, existem paredes que não cumprem o regulamento em vigor, dado que o valor máximo admissível na zona do Porto é $1.60 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ – ver página 66. As paredes em questão são a parede simples de alvenaria de pedra granítica de 40 centímetros de espessura sem isolamento e a parede simples de alvenaria de pedra granítica de 40 centímetros de espessura com caixa de ar e gesso cartonado pelo interior, tendo um coeficiente de transmissão térmica elevado logo tem baixa resistência térmica.

No entanto, quando aplicada a técnica de isolamento pelo interior passa a verificar, no sentido em que não excede, pois ainda está aquém do valor de referência, $0.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$.

Portanto, paredes com coeficiente de transmissão térmica baixo são paredes mais confortáveis, diminuindo o efeito de assimetrias térmicas no interior dos espaços, ou seja, o efeito de “parede fria” que provoca um desconforto térmico localizado.

Quanto às condensações internas, é importante referir que elas acontecem devido a um conjunto de ações externas, em que algumas não estão diretamente relacionadas com as características dos componentes das paredes. Por exemplo, a temperatura interna da habitação e a humidade relativa interior interferem e muito na ocorrência das condensações. A humidade interior reflete o vapor de água que se propaga pelo edifício, sendo proveniente da respiração e metabolismo dos ocupantes, da cozinha, dos banhos, da lavandaria, do modo e local como a roupa é seca, entre outros. Portanto, pelas razões citadas e sabendo que os edifícios são habitados por um número variável de pessoas, considerou-se um parâmetro de higrometria forte, com valor numérico 7.

As condensações no interior das paredes ocorrem sempre que, num dado ponto, a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão, iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto. A localização das diferentes

camadas duma parede heterogénea, influencia decisivamente o risco de ocorrência de condensações internas. Mas o parâmetro de higrometria é fundamental, pois se for considerado um parâmetro fraco, não ocorrem condensações independentemente do tipo de parede existente.

Verifica-se que há uma discrepância na verificação de ocorrência ou ausência de condensações entre o método de cálculo analítico – capítulo 7 – e o método de cálculo automático *Condensa 13788* – capítulo 8. No entanto, o método ao qual atribuímos maior fiabilidade é o constante dos cálculos presentes no capítulo 7. No que respeita ao programa de cálculo automático *Condensa 13788*, não estão claros alguns dos elementos da base de dados, que podem causar discrepâncias com o cálculo analítico.

Parede dupla tijolo furado de 15 centímetros + 11 centímetros de espessura

A condensação que ocorre na parede de tijolo furado de 15 centímetros mais 11 centímetros de espessura, quando aplicado isolamento pelo exterior é desprezável, visto que a pressão efetiva é apenas 0,09 mmHg superior à pressão de saturação.

As condensações previstas, quando aplicado o isolamento intermédio e interior, já são consideráveis, visto estarem presentes em duas camadas constituintes da parede, sendo mais gravosas no isolamento interior, em que as condensações se manifestam desde o isolamento até ao tijolo furado do paramento exterior. Estas condensações existem porque há um gradiente térmico elevado, que faz com que as diferenças de temperatura entre camadas da parede provoquem a condensação do vapor nas mais frias (externas ao isolante).

Quando a parede está na sua forma original, ocorrem condensações no pano exterior da parede confinante com a caixa-de-ar, porque há presença de vapor e uma mudança significativa na temperatura, estando a caixa de ar a uma temperatura superior à do tijolo

furado do pano exterior. Esta condensação pode ser resolvida com a colocação de uma barreira para-vapor, em que a sua principal função é impedir a passagem de vapor de água, no entanto, apesar da elevada resistência à difusão de vapor, a generalidade destes componentes não impede completamente a sua passagem. Esta solução deve ser colocada no limite da “zona quente” da parede, ou seja, internamente ao isolamento térmico.

Parede dupla tijolo maciço de 11 centímetros + tijolo furado de 11 centímetros de espessura

De acordo com os cálculos efetuados presentes no capítulo 7, a situação que representa perigo de condensação é na técnica de aplicação do isolamento pelo interior, em que existe condensações entre a caixa de ar e o isolamento, devido ao gradiente térmico explicado anteriormente.

Em termos de comparação com a parede anteriormente referida comporta-se melhor, devido ao coeficiente de permeabilidade ao vapor do tijolo maciço ser superior ao do tijolo furado.

Parede dupla pedra granítica de 30 centímetros + tijolo furado de 11 centímetros espessura

Nesta parede há condensações quando esta se encontra no seu estado original – sem isolamento – e quando aplicado isolamento pelo interior e isolamento intermédio.

Quando a parede encontra-se sem isolamento, ocorre condensações entre a caixa de ar e o tijolo furado 30x20x11cm; enquanto na técnica de isolamento pelo interior e isolamento intermédio, existem condensações desde a lâ de rocha até à caixa de ar e na espuma de poliuretano, respetivamente.

A pedra granítica é um elemento com coeficiente de permeabilidade ao vapor reduzido, sendo um fator favorável para a ocorrência de condensações. A solução passa por utilizar uma barreira para-vapor, tal como mencionado no primeiro caso.

Parede simples pedra granítica de 40 centímetros espessura

Para esta parede existem condensações quando a parede se apresenta sem isolamento. Estas condensações ocorrem na face interna da parede, no estuque tradicional. A temperatura na pedra é praticamente constante, pelo que quando o ar chega ao interior ainda está a uma temperatura idêntica à exterior, ou seja, está a uma temperatura fria, pelo que em contacto com um ambiente quente e presença de humidade vai provocar a condensação. Quando aplicado o isolamento interior verifica-se a condensação entre o isolamento e o estuque interior, pelo motivo atrás referido. Quando aplicada na parede de pedra uma estrutura metálica que irá suportar as placas de gesso cartonado, também há ocorrência de condensações na caixa de ar criada para a fixação da estrutura.

Com aplicação da tinta de membrana elástica pelo exterior

Foi feito um estudo com a parede dupla de tijolo furado de 15 centímetros mais 11 centímetros de espessura, para verificar se há ou não implicações de condensações quando aplicada uma tinta à base de borracha – tecnicamente é uma tinta de membrana elástica –, com boa estanqueidade à água, mas baixa permeabilidade ao vapor causando a sua elevada resistência global à difusão de vapor. Verificou-se que, com a mudança da tinta texturada para tinta de borracha, as condensações são mais acentuadas, as pressões instaladas são superiores com a tinta de borracha, nas mesmas camadas.

9.3. Desenvolvimentos Futuros

A reabilitação executada nos dias de hoje deve ter enfoque na eficiência energética dos edifícios. Para tal, devem ser criados programas de promoção da sustentabilidade ambiental urbana e de melhoria da eficiência energética do parque edificado, deve haver formação para os técnicos que elaboram os projetos de térmica e sobretudo analisar os materiais isolantes no que respeita à sua sustentabilidade, porque estes podem ter boa resistência térmica mas exigir grandes quantidades de outros materiais e/ou, consumir muita energia na fase de fabricação.

Com isto não pretendemos dizer que estas medidas já não estejam a ser tomadas, mas é preciso mais, há uma necessidade urgente em baixar os consumos exagerados dos sistemas mecânicos e proceder às devidas correções de desempenho térmico passivo.

Com a assinatura e ratificação do Protocolo de Quioto, cada estado signatário comprometeu-se a tomar as medidas necessárias para reduzir a produção dos gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa que contribuem para o aquecimento global. Para cumprir com as medidas necessárias para a melhoria da eficiência energética do território, os países signatários apontaram como um dos seus principais objetivos melhorar a eficiência energética dos edifícios, impondo a integração das exigências de proteção do ambiente nas suas políticas e ações.

O cumprimento das políticas e a aspiração legítima da população a melhores condições de conforto térmico constituem desafios constantes aos projetistas da térmica na conceção de edifícios, para encontrar soluções construtivas tecnologicamente adequadas e economicamente rentáveis.

É neste sentido que Portugal tem de seguir, trabalhando sempre para alcançar a sustentabilidade e o conforto dos utentes dos edifícios, não esquecendo que este país não é produtor de combustíveis fósseis, logo é suscetível de problemas económicos.

10. Bibliografia

Documentos

- [1] - CORVACHO, Maria Helena Póvoas - *Catálogo de Pontes Térmicas*. 2ª ed. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.
- [2] - VALÉRIO, Jorge Gustavo Marques Alface Pereira - *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2007. Tese de mestrado.
- [3] - JARDIM, Fátima Maria Gomes - *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Braga: Universidade do Minho, 2009. Tese de mestrado.
- [4] - Dr. Lar - Reabilitação e Isolamentos. *ETICS - Cappotto*. Disponível em <<http://www.eticscappotto.com.pt/page1>>. Consultado em [26-04-2014].
- [5] - FREITAS, Vasco Peixoto - *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: reboco delgado armado sobre poliestireno expandido*. ETICS, Relatório - HT 191A/02. Porto, 2002.
- [6] - MENDES, Francisco Melo Vaz Pinto - *Durabilidade das fachadas ventiladas*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Tese de mestrado.
- [7] - Freitas, V., Pinto, P. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas - Nota de Informação Técnica - NIT_002*. 2º Edição. LFC, Porto, 1998. 69 Pg.
- [8] - INE, Instituto Nacional de Estatística; LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. - *O Parque Habitacional e a Sua Reabilitação - Análise e Evolução 2001-2011*. Edição 2013. Lisboa
- [9] - Genutek. Disponível em <<http://www.genutek.pt/remodelacoes-pladur.html>>. Consultado em [10-05-2014].
- [10] - ADENE - Agência para a Energia. Sessão de Atualização de Conhecimentos. 2013
- [11] - Macedo, A., Mateus, R., Silva, S.M. - *Avaliação da Sustentabilidade de Soluções de Reabilitação Energética para Paredes Exteriores de um Edifício de Habitação*. Guimarães, Universidade do Minho, 2012. Conferência.
- [12] - Freitas, V., Pinto, M. *Metodologia para a selecção exigencial de isolantes térmicos*. Nota de Informação Técnica - NIT_001. 2º Edição. LFC, Porto, 1997.

- [13] – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – REH. Decreto-Lei nº118/2013, de 20 de Agosto.
- [14] – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE. Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril. Porto, Porto Editora, 2006.
- [15] – Santos, C.A. Pina dos., Matias, Luís. *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. ICT Informação Técnica, Edifícios – ITE 50, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2006.
- [16] - Pinto A. M., 2011. Reabilitação térmica de fachadas - Estudo de caso através de simulação numérica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pp. 3 – 39 (Dissertação de Mestrado).
- [17] - Ramos N.M., 2007. A importância da inércia higroscópica no comportamento higratérmico dos edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Tese de Doutoramento).
- [18] – European Committee for Standardization (CEN). Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods (ISO 13788:2001). CEN, Bruxelas, Julho 2001.
- [19] – Nunes, J.A.A. – *Reabilitação do Ponto de Vista Térmico de Fachadas no Centro Histórico do Porto*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Tese de Mestrado.
- [20] – Maia, J.I.S. – *Avaliação do Ciclo de Vida de Soluções de Reabilitação Energética de Fachadas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013. Tese de Mestrado
- [21] – Brito, M.C. – *Reabilitação de Fachadas e o Seu Contributo Energético*. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2010. Tese de Mestrado

Imagens

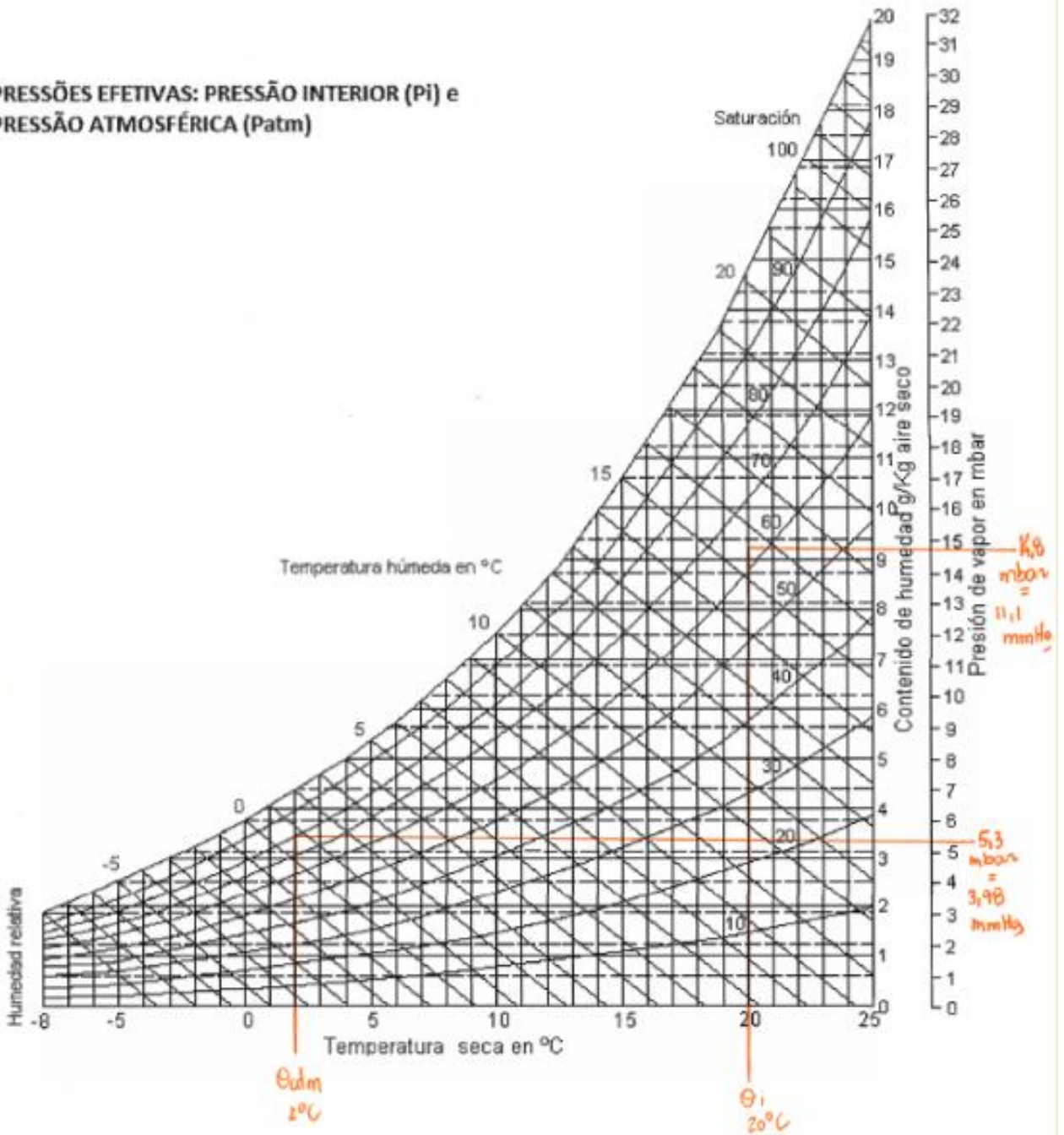
- [22] – Russas News – Casa de Taipa. Disponível em <<http://russasnews.com.br/destaque>>. Consultado em [26-04-2014].
- [23] – Técnicas Tradicionais de Construção. Disponível em <http://ameal.weebly.com/>. Consultado em [26-04-2014].
- [24] – Instituto EcoAção – Disponível em <<http://institutoecoacao.blogspot.pt/2013/05>>. Consultado em [26-04-2014].

- [25] – ESO Paredes – Disponível em <<http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=paredes>>. Consultado em [26-04-2014].
- [26] – Ideias para Construção – Disponível em <<http://construdeia.com/concreto-leve/>>. Consultado em [26-04-2014].
- [27] – Construção Melhor. Disponível em <<http://projetomelhor.blogspot.pt/2010/12/steel-frame-construcao-limpa-menor.html>>. Consultado em [26-04-2014].
- [28] – Corretor em Foco. Disponível em <<http://corretoremfoco.com/wp/atualidades/bloco-de-cimento-e-tendencia-na-construcao-civil/>>. Consultado em [09-05-2014].
- [29] – CAD, Campanha de Arquitetura e Design. Disponível em <http://planetacad.com/presentationlayer/artigo_01>. Consultado em [09-05-2014].
- [30] – Brisa Colorida. Disponível em <<http://www.brisacolorida.pt/etics.php>>. Consultado em [09-05-2014].
- [31] – Pintar a Casa. Disponível em <<http://www.pintaracasa.com/2014/01/Sistema-Therminnov-Parte-19.html>>. Consultado em [10-05-2014].
- [32] – Elementos construtivos da fachada. Disponível em <http://html.rincondelvago.com/construccion_4.html>. Consultado em [10-05-2014].
- [33] – Arquitetura de Casas. Disponível em <<http://arquitecturadecasas.blogspot.pt/2010/04/casas-de-piedra.html>>. Consultado em [10-05-2014].

Anexos

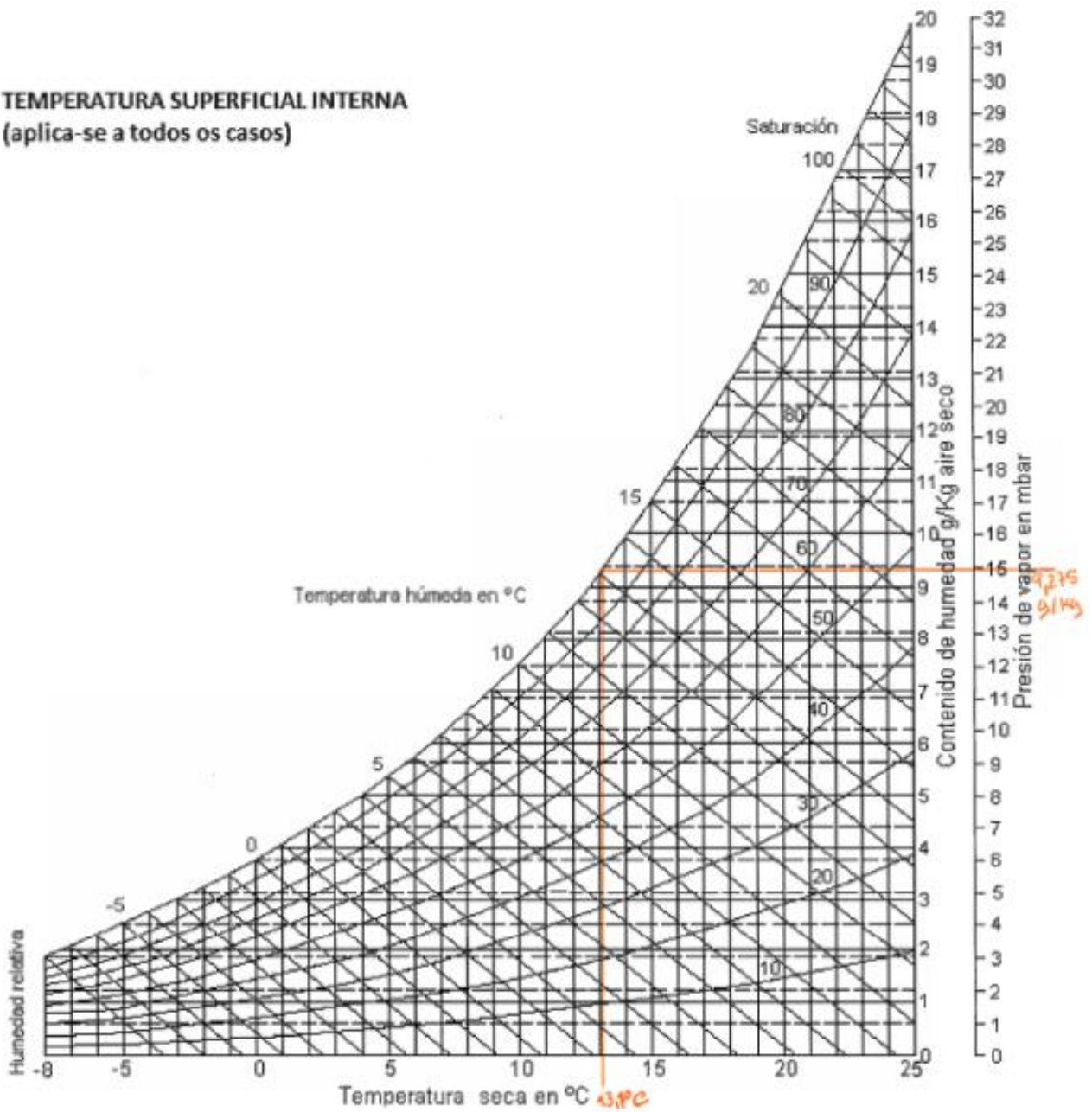
Anexo A Diagrama Psicrométrico das Pressões
Efetivas

PRESSÕES EFETIVAS: PRESSÃO INTERIOR (Pi) e PRESSÃO ATMOSFÉRICA (Patm)



Anexo B Diagrama Psicrométrico da Temperatura
Superficial Interna

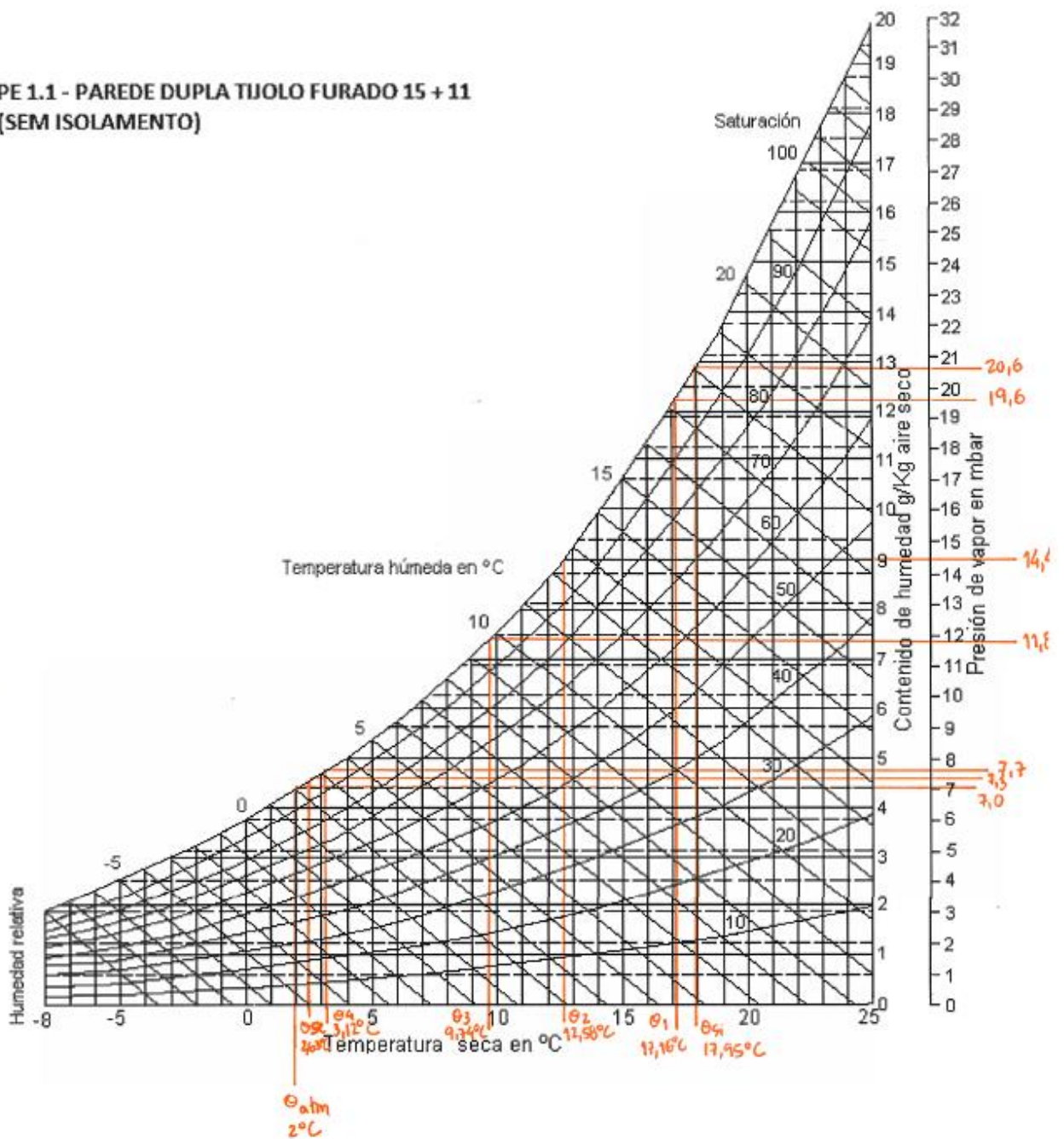
TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERNA
(aplica-se a todos os casos)



Anexo C Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo

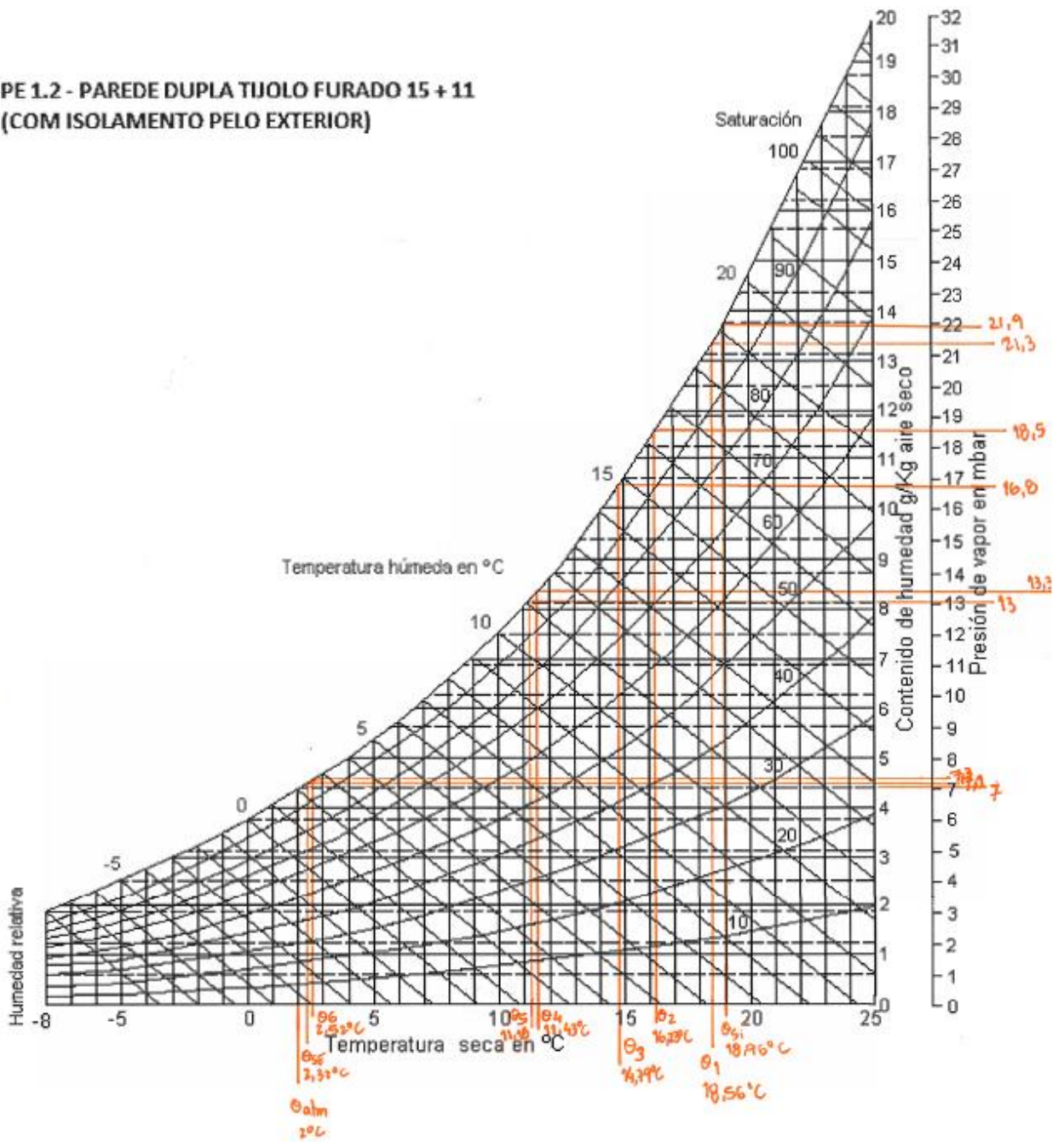
Furado 15 + 11 cm (Sem Isolamento Térmico)

**PE 1.1 - PAREDE DUPLA TIJOLO FURADO 15 + 11
(SEM ISOLAMENTO)**



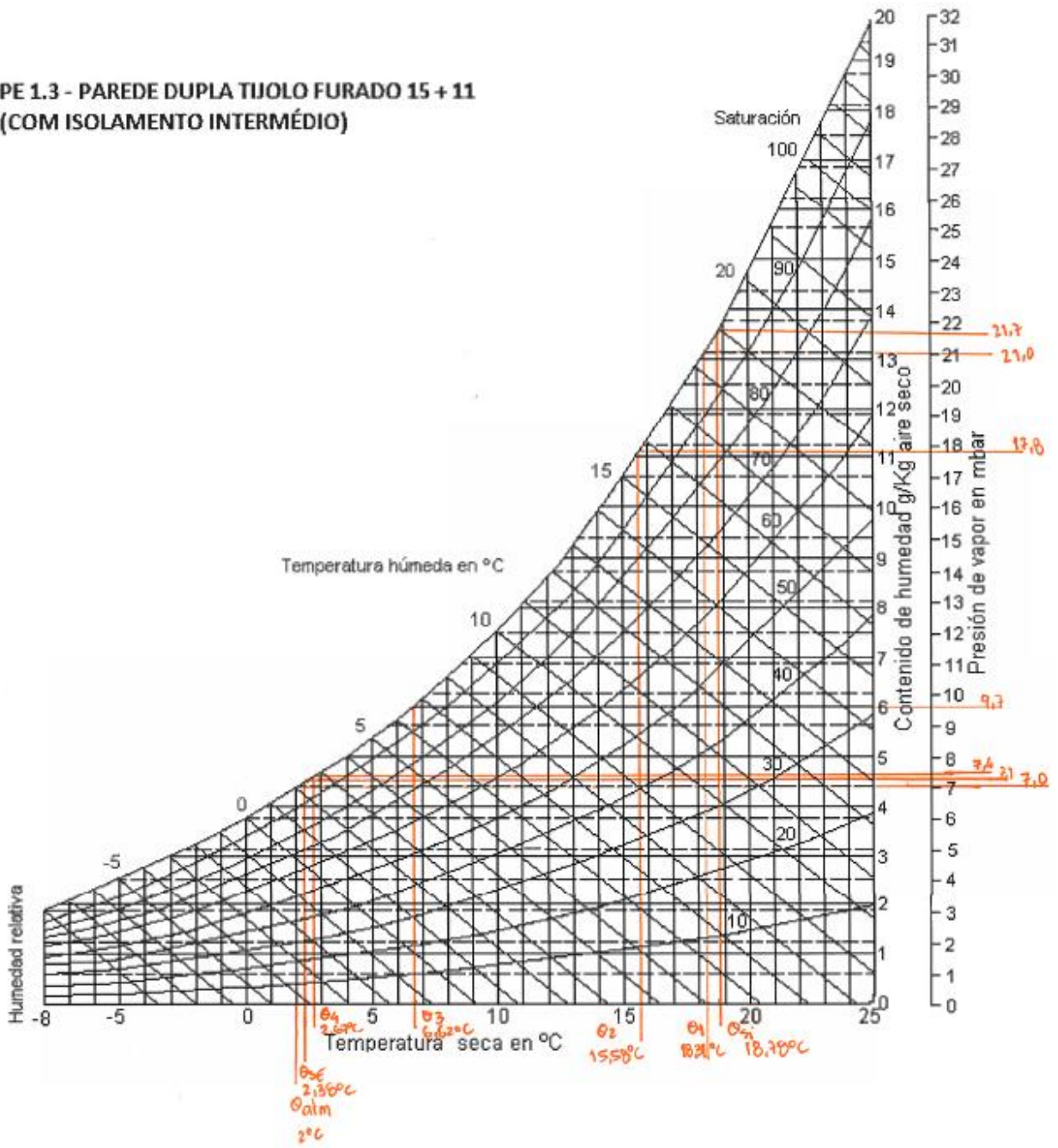
Anexo D Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo
Furado 15 + 11 cm (Com Isolamento Térmico
Exterior)

**PE 1.2 - PAREDE DUPLA TIJOLO FURADO 15 + 11
(COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR)**



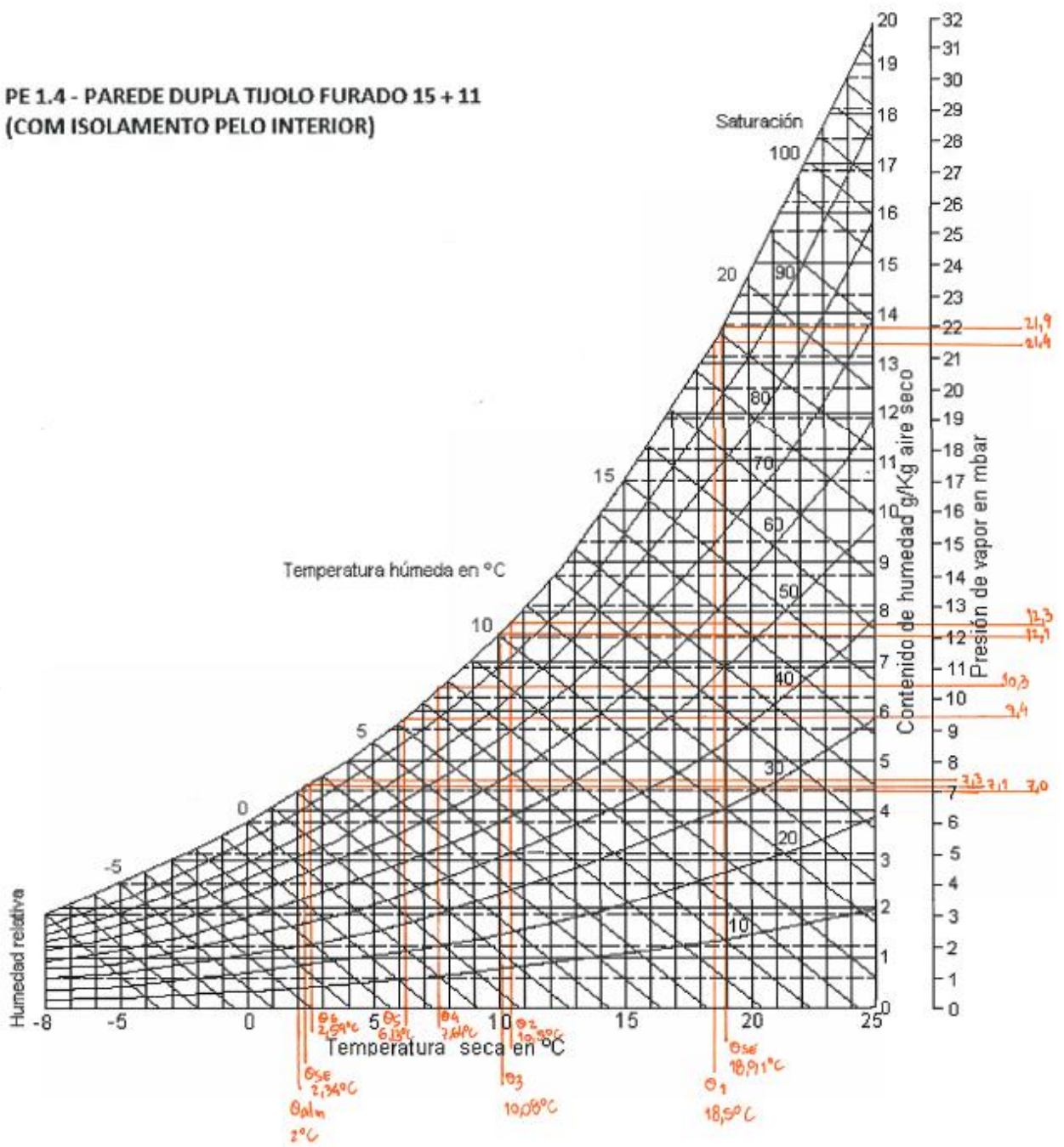
Anexo E Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo
Furado 15 + 11 cm (Com Isolamento Térmico
Intermédio)

**PE 1.3 - PAREDE DUPLA TIJOLO FURADO 15 + 11
(COM ISOLAMENTO INTERMÉDIO)**



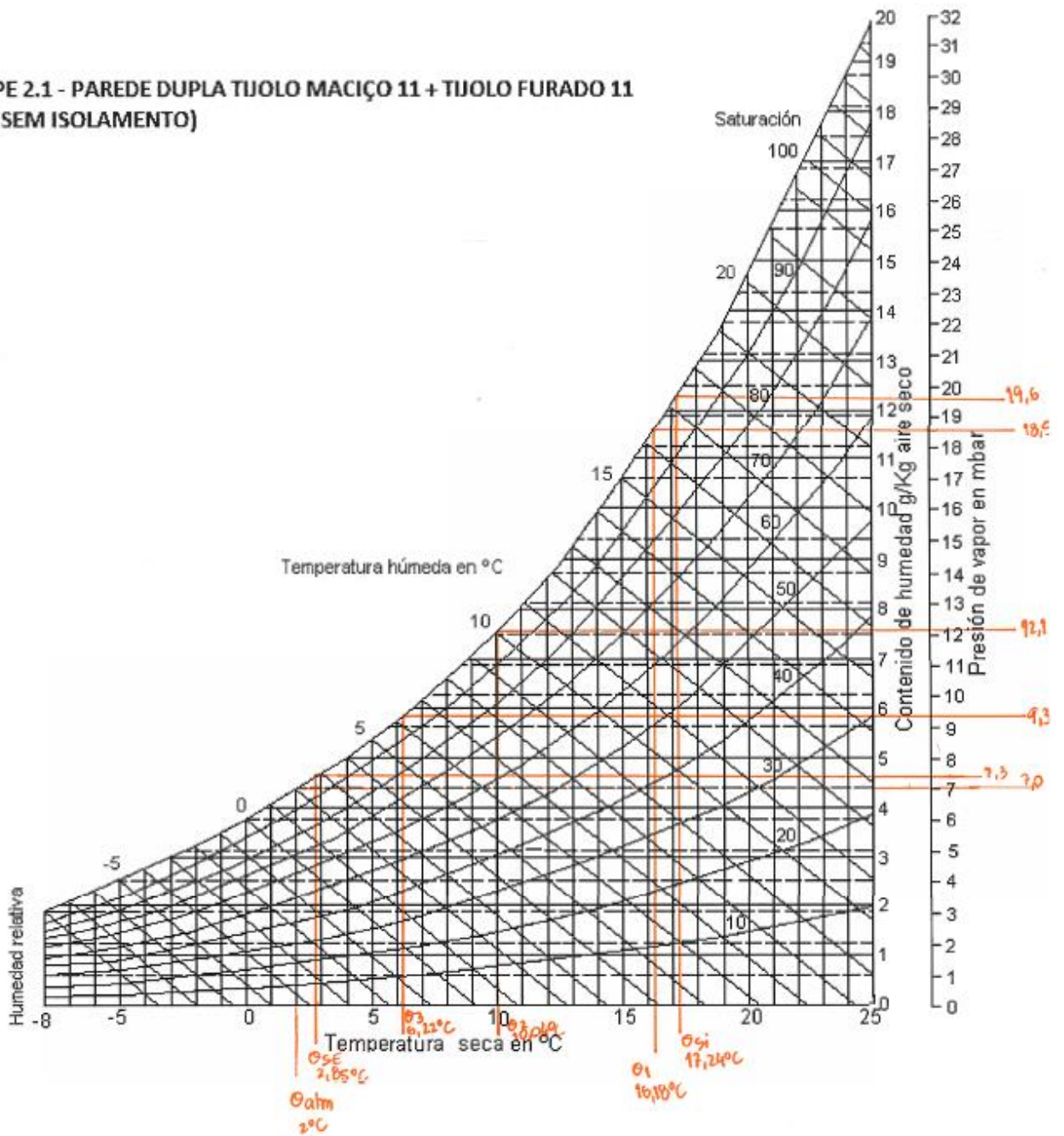
Anexo F Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo
Furado 15 + 11 cm (Com Isolamento Térmico
Interior)

**PE 1.4 - PAREDE DUPLA TIJOLO FURADO 15 + 11
(COM ISOLAMENTO PELO INTERIOR)**



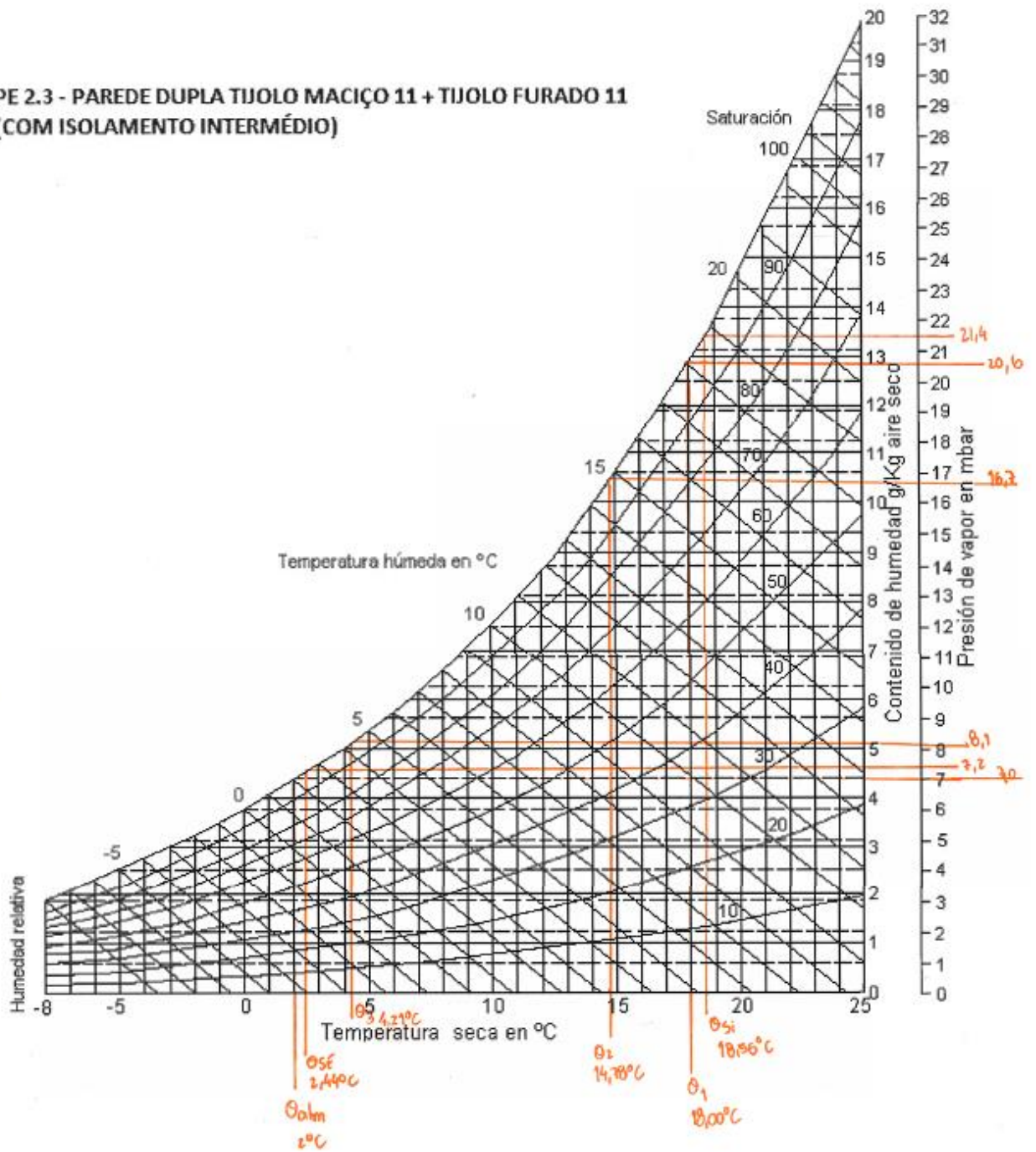
Anexo G Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo
Maciço 11 cm + Tijolo Furado 11 cm (Sem
Isolamento Térmico)

PE 2.1 - PAREDE DUPLA TIJOLO MACIÇO 11 + TIJOLO FURADO 11
(SEM ISOLAMENTO)



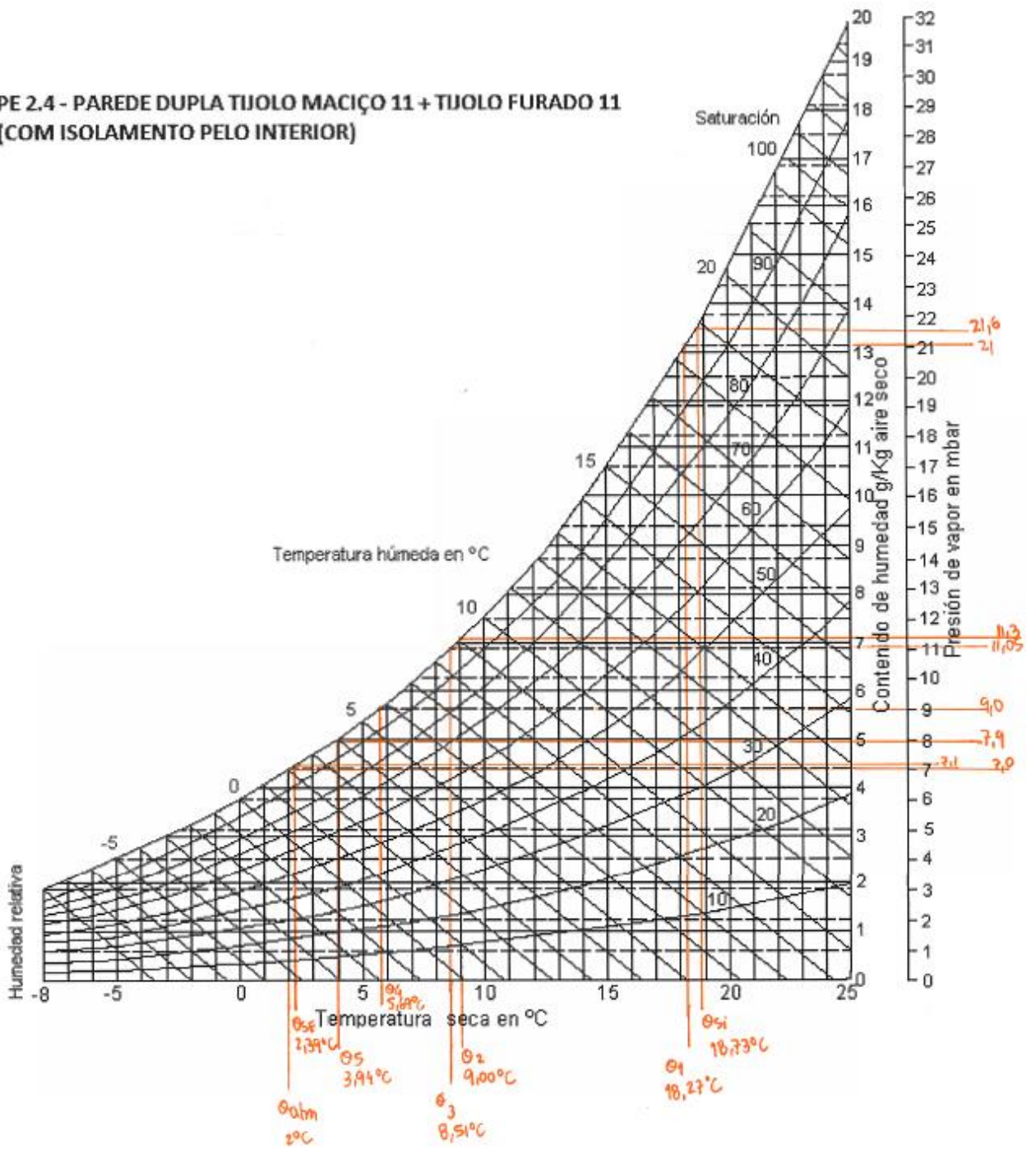
Anexo H Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo
Maciço 11 cm + Tijolo Furado 11 cm (Com
Isolamento Térmico Intermédio)

**PE 2.3 - PAREDE DUPLA TIJOLO MACIÇO 11 + TIJOLO FURADO 11
(COM ISOLAMENTO INTERMÉDIO)**



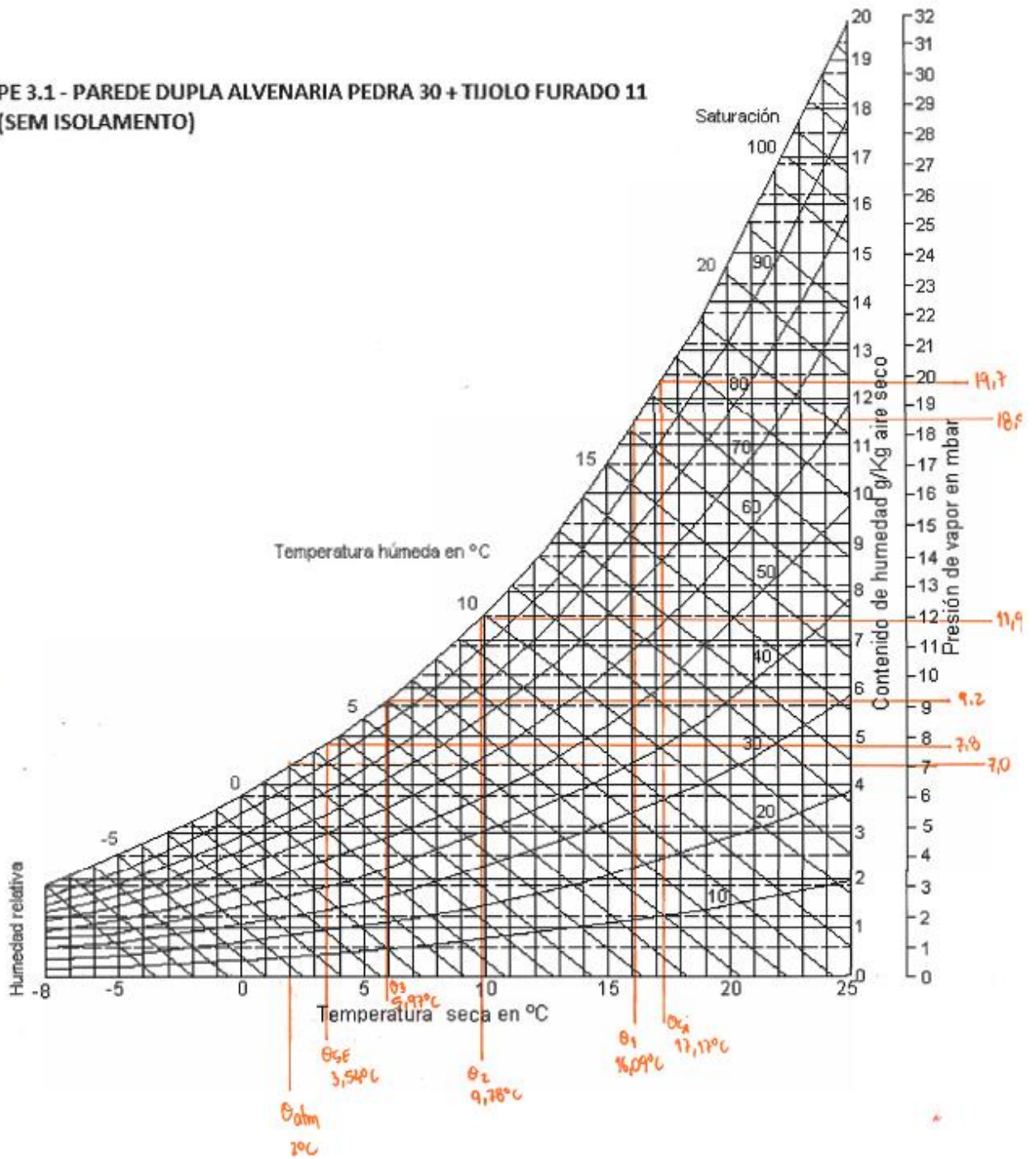
Anexo I Diagrama Psicrométrico da Parede Tijolo
Maciço 11 cm + Tijolo Furado 11 cm (Com
Isolamento Térmico Interior)

**PE 2.4 - PAREDE DUPLA TIJOLO MACIÇO 11 + TIJOLO FURADO 11
(COM ISOLAMENTO PELO INTERIOR)**



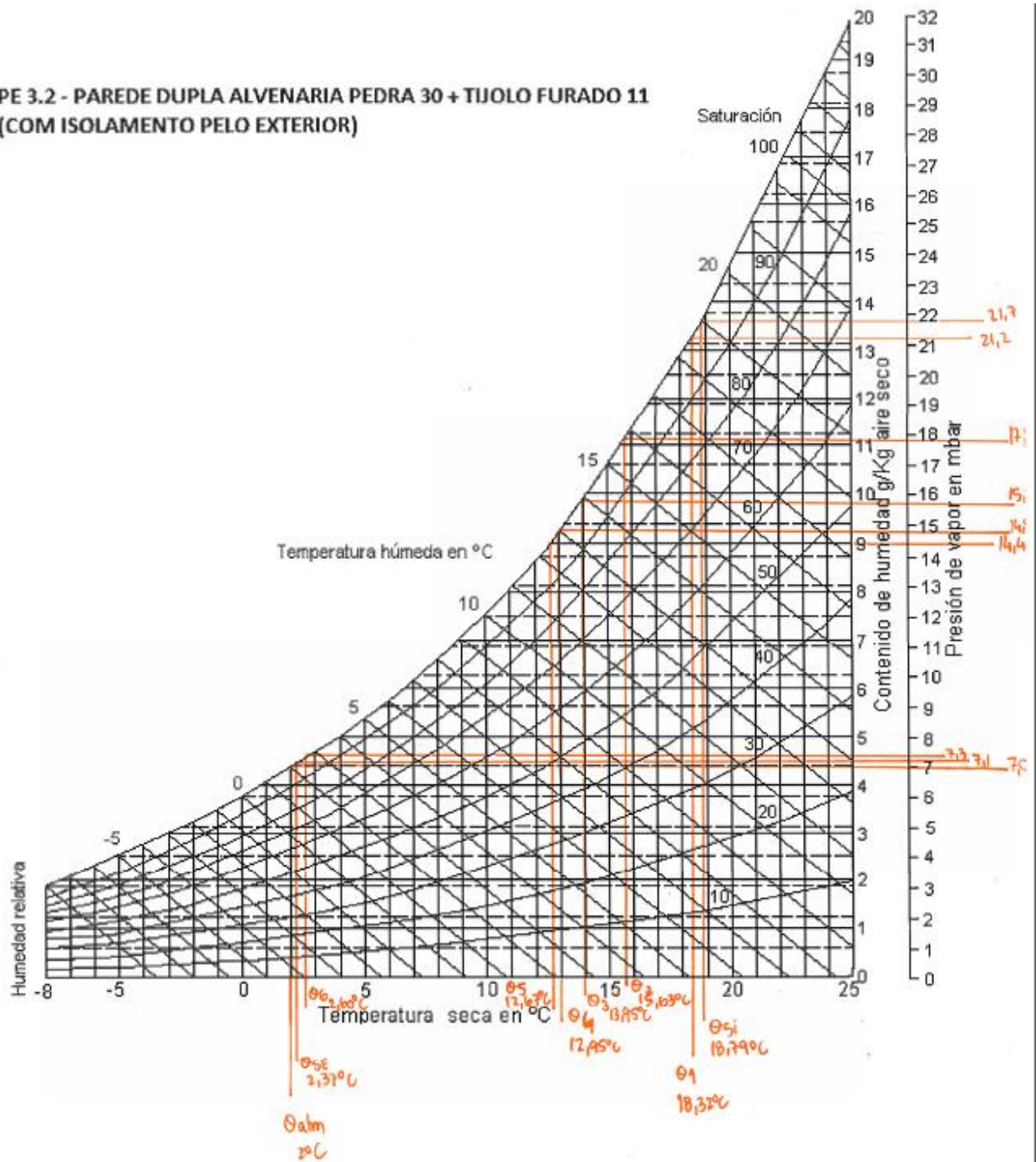
Anexo J Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 30 cm + Tijolo Furado 11 cm (Sem
Isolamento Térmico)

**PE 3.1 - PAREDE DUPLA ALVENARIA PEDRA 30 + TIJOLO FURADO 11
(SEM ISOLAMENTO)**



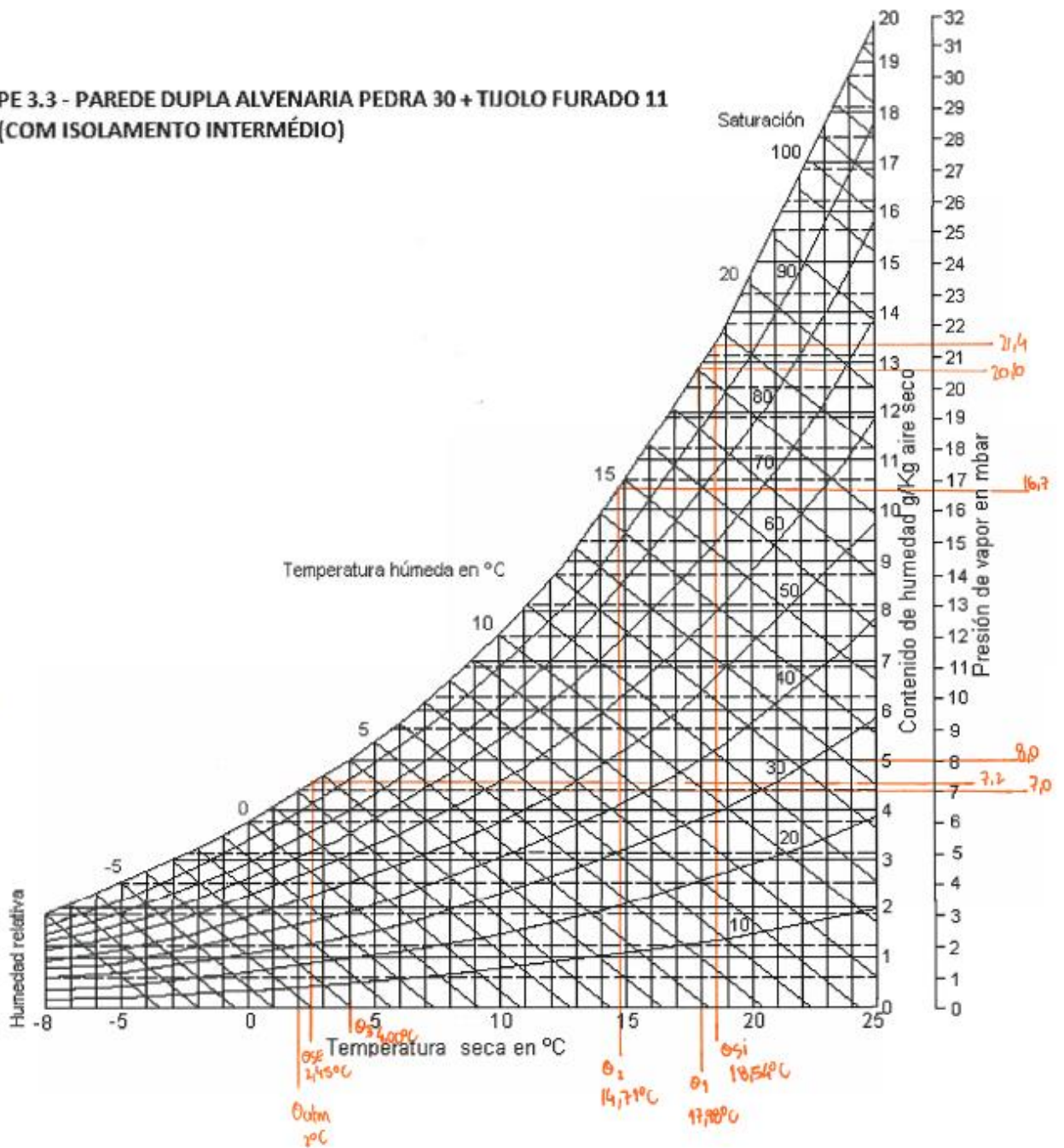
Anexo K Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 30 cm + Tijolo Furado 11 cm (Com
Isolamento Térmico Exterior)

**PE 3.2 - PAREDE DUPLA ALVENARIA PEDRA 30 + TIJOLO FURADO 11
(COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR)**



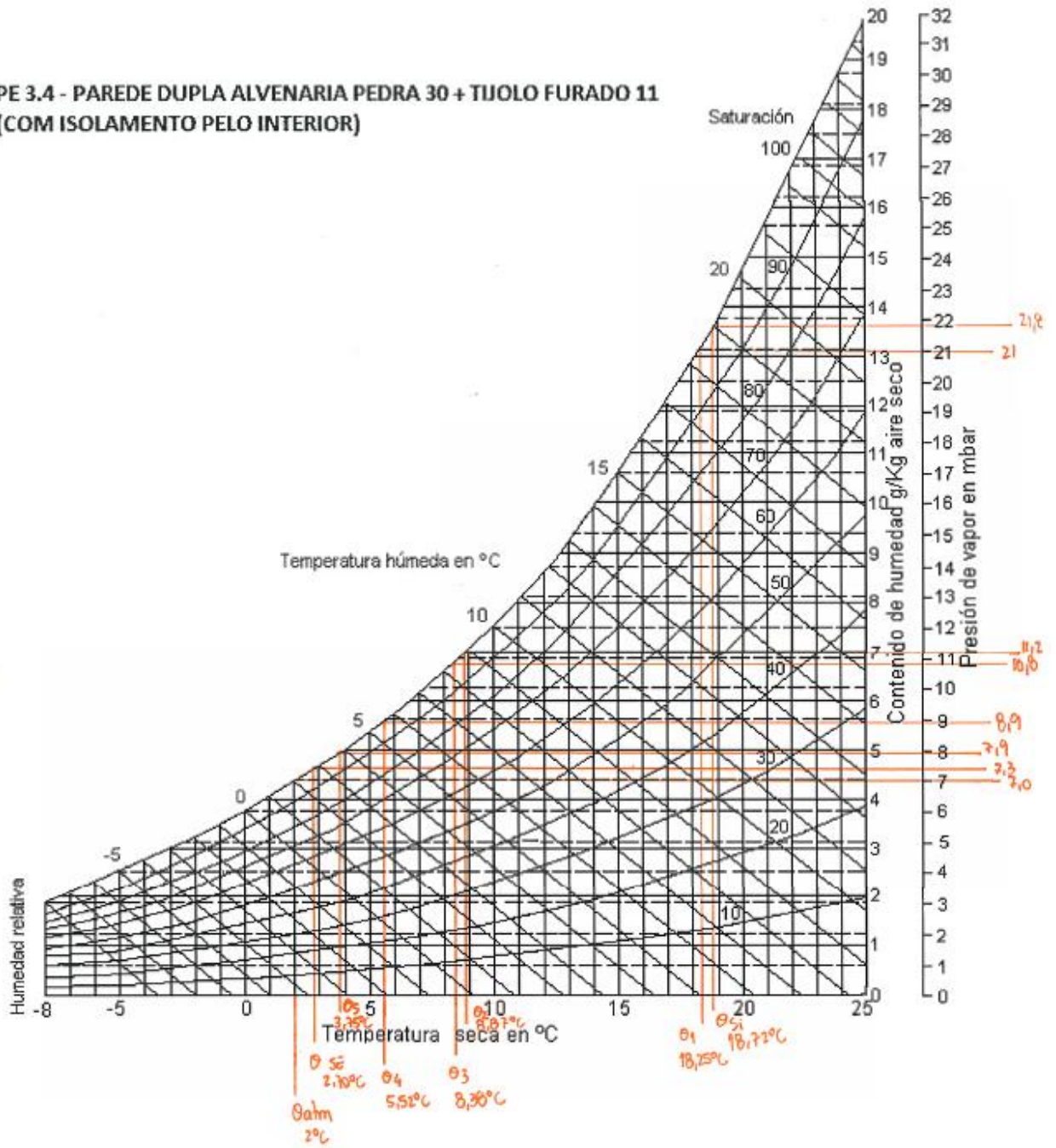
Anexo L Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 30 cm + Tijolo Furado 11 cm (Com
Isolamento Térmico Intermédio)

**PE 3.3 - PAREDE DUPLA ALVENARIA PEDRA 30 + TIJOLO FURADO 11
(COM ISOLAMENTO INTERMÉDIO)**



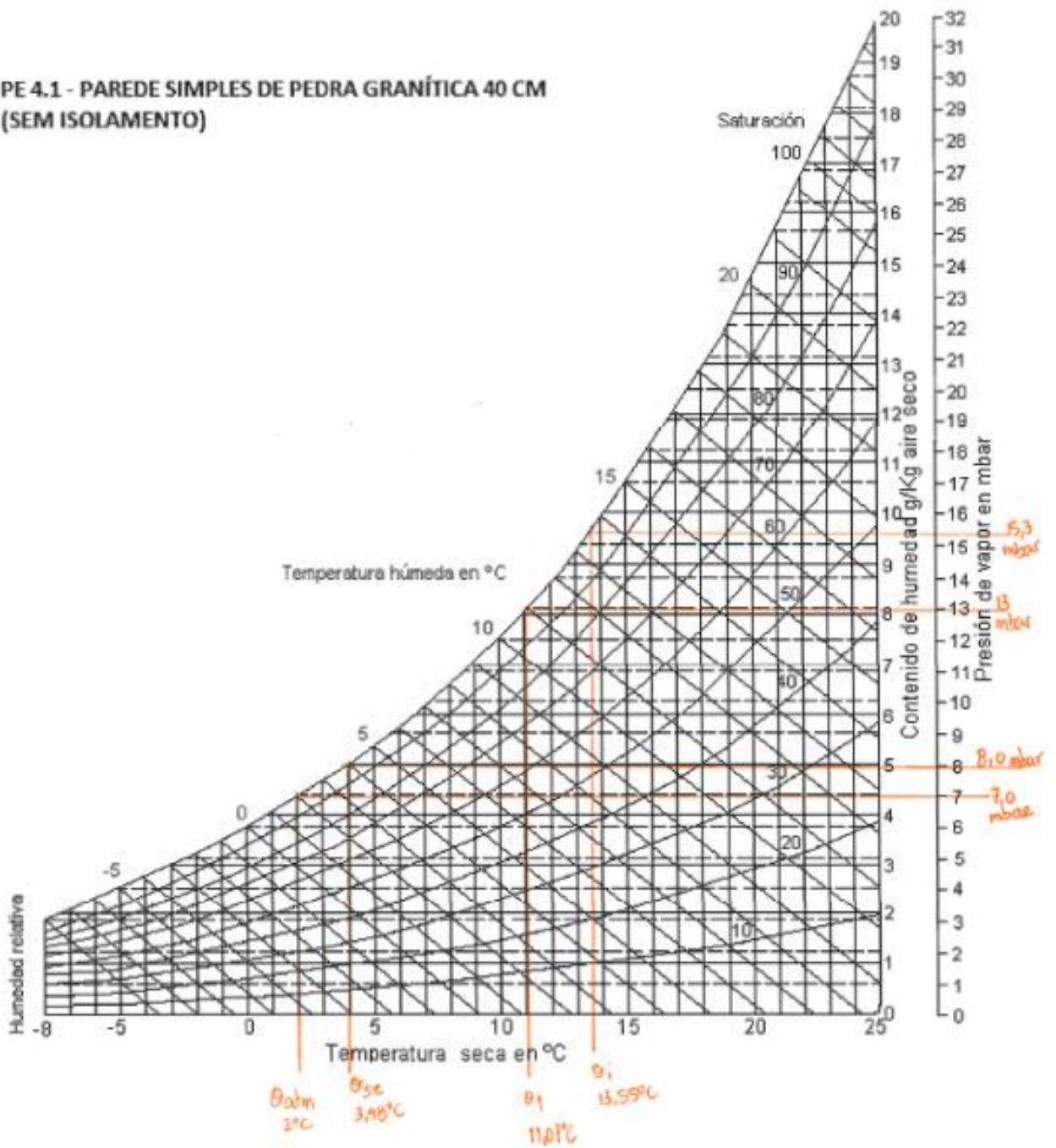
Anexo M Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 30 cm + Tijolo Furado 11 cm (Com
Isolamento Térmico Interior)

**PE 3.4 - PAREDE DUPLA ALVENARIA PEDRA 30 + TIJOLO FURADO 11
(COM ISOLAMENTO PELO INTERIOR)**



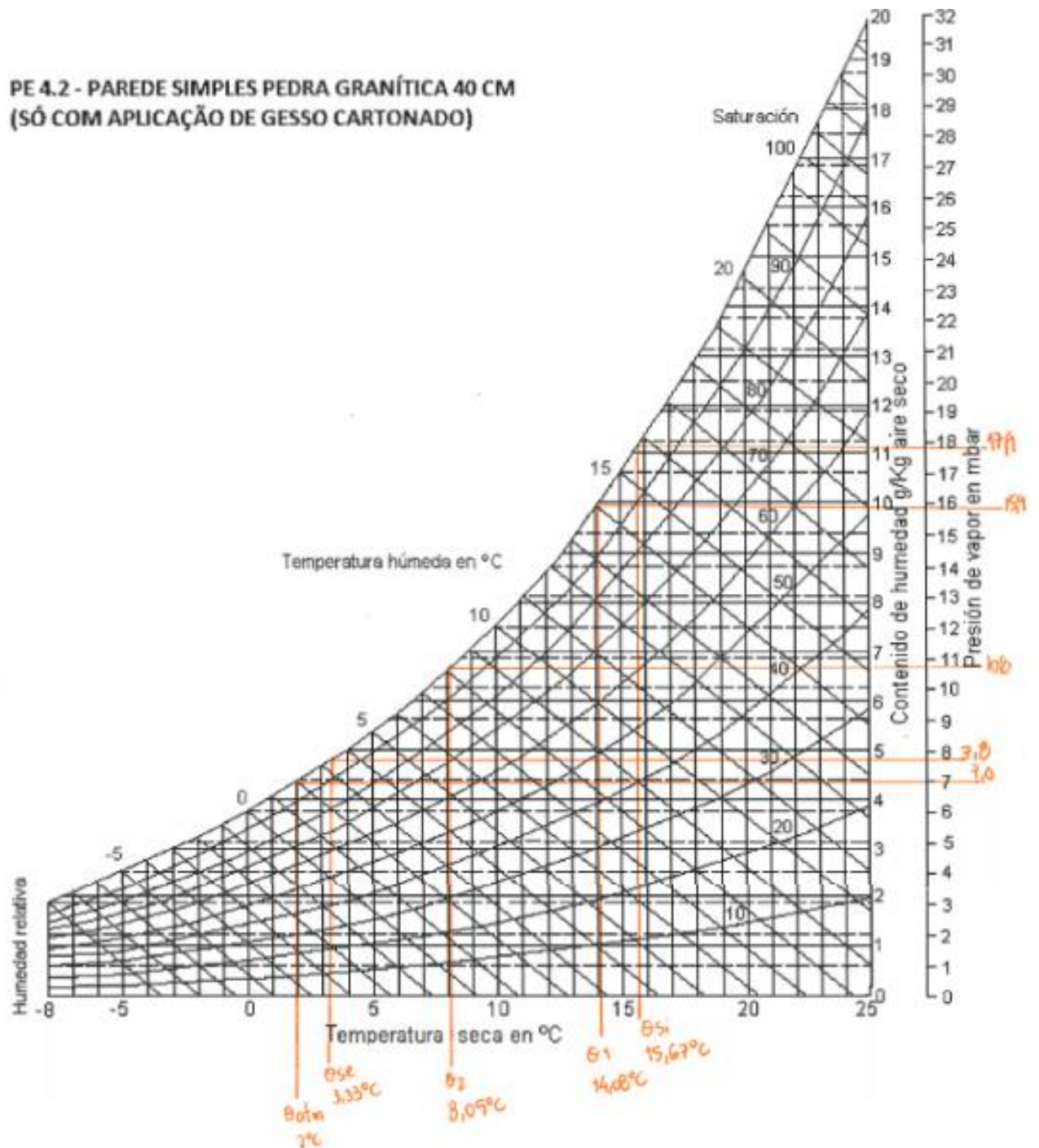
Anexo N Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 40 cm (Sem Isolamento Térmico)

PE 4.1 - PAREDE SIMPLS DE PEDRA GRANÍTICA 40 CM
(SEM ISOLAMENTO)



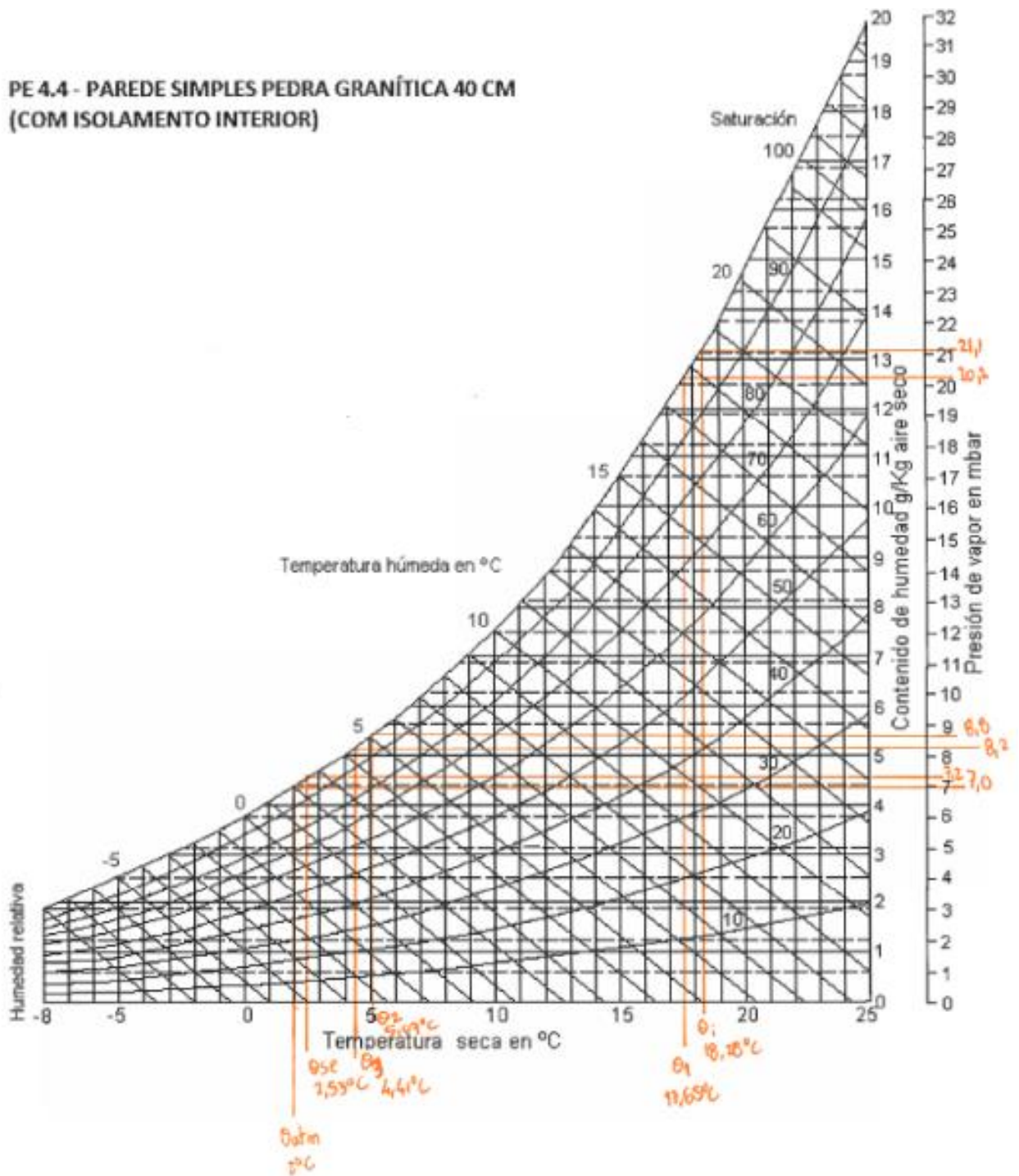
Anexo o Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 40 cm (Com Caixa de Ar e Gesso
Cartonado pelo Interior)

**PE 4.2 - PAREDE SIMPLES PEDRA GRANÍTICA 40 CM
(SÔ COM APLICAÇÃO DE GESSO CARTONADO)**



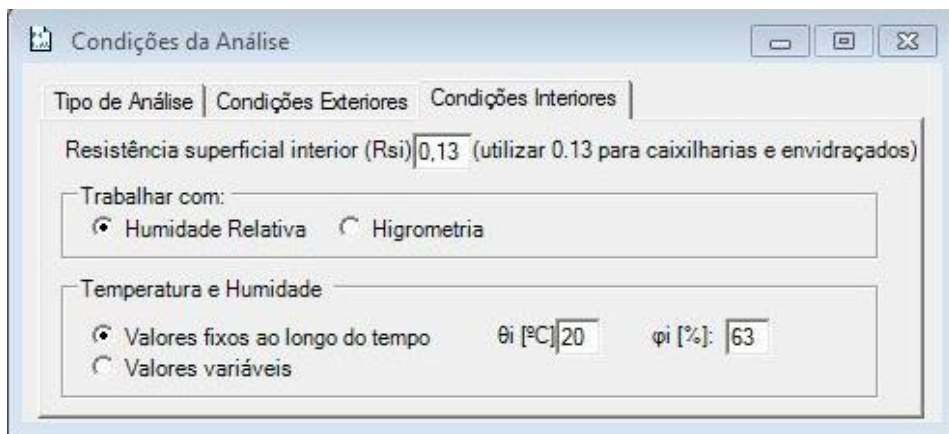
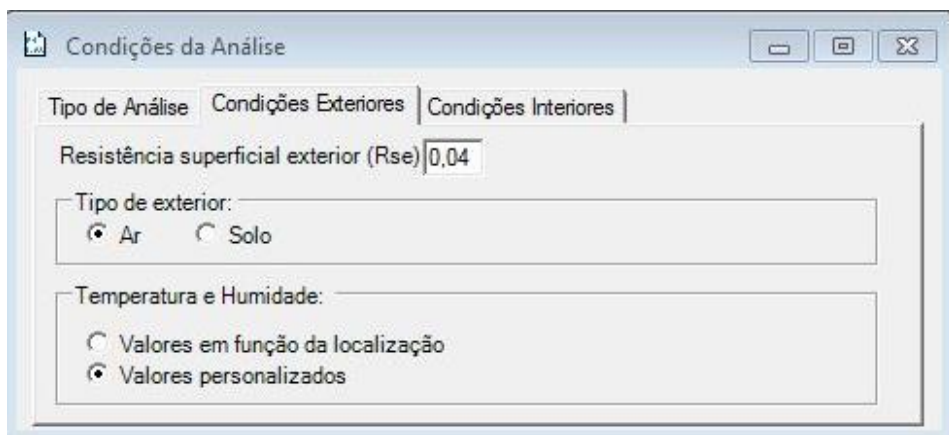
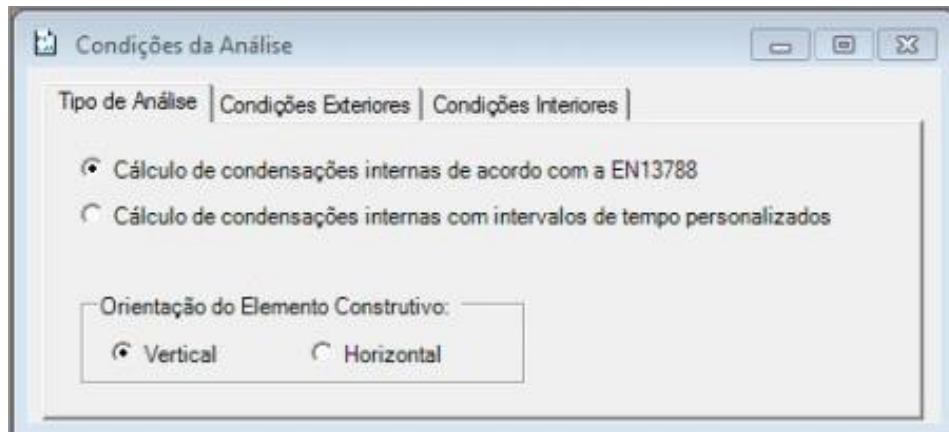
Anexo P Diagrama Psicrométrico da Parede Pedra
Granítica 40 cm (Com Isolamento Térmico
Interior)

PE 4.4 - PAREDE SIMPLES PEDRA GRANÍTICA 40 CM
(COM ISOLAMENTO INTERIOR)



Anexo Q Simulações – Programa *Condensa*

As condições e os intervalos de tempo da análise são iguais para todos os casos:



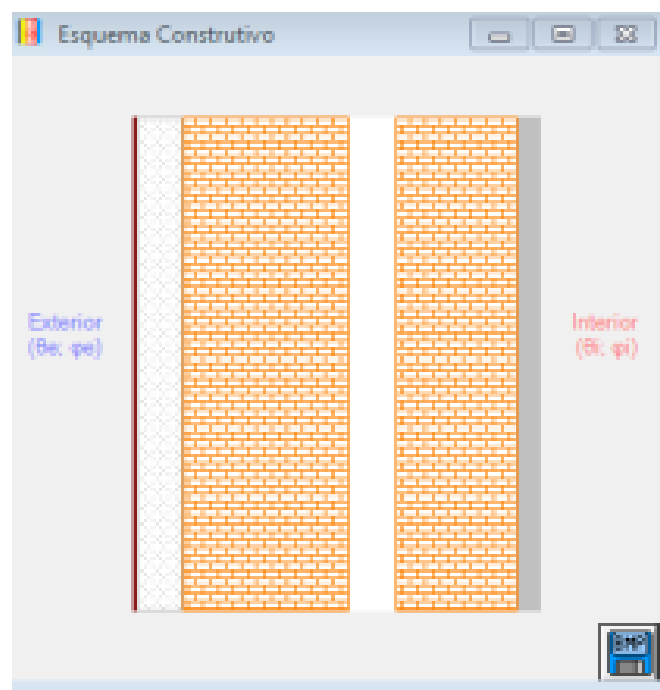
Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	θi [°C]	φi [%]
Janeiro	744	2	80	20	63
Fevereiro	672	5	80	20	63
Março	744	8	75	20	63
Abril	720	12,9	74	20	63
Mai	744	15,1	74	20	63
Junho	720	18,1	74	20	63
Julho	744	19,9	73	20	63
Agosto	744	19,8	73	20	63
Setembro	720	19	76	20	63
Outubro	744	15	80	20	63
Novembro	720	10	81	20	63
Dezembro	744	5	81	20	63

Parede dupla tijolo furado 15 + 11 cm espessura

- Sem isolamento

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Cixar		0,222	10400	0,04	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	
	Pintura plástica int		0,63	48	0,0002	
	Pintura texturada		0,63	7,5	0,001	
	Reboco ext		1,3	300	0,04	
	Tijolo 30x20x11		0,379	500	0,11	
	Tijolo 30x20x15		0,357	500	0,15	

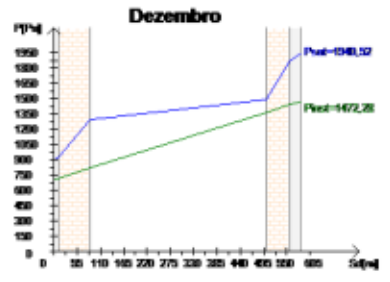
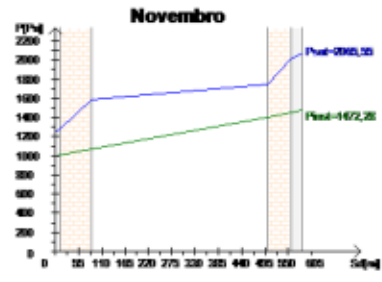
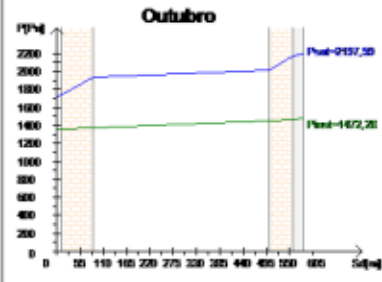
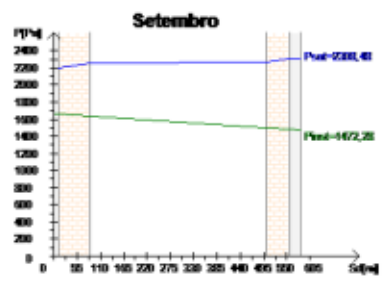
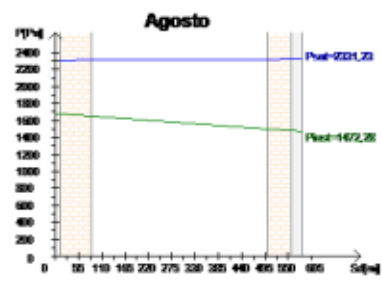
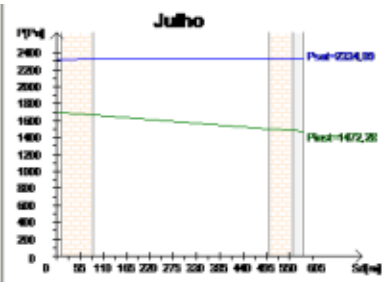
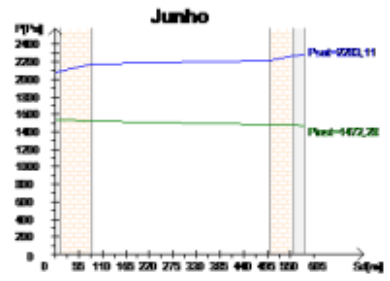
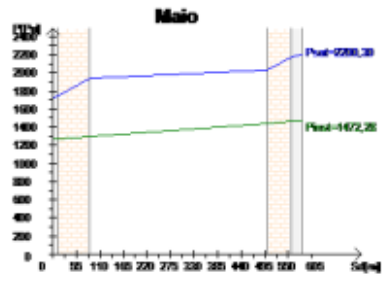
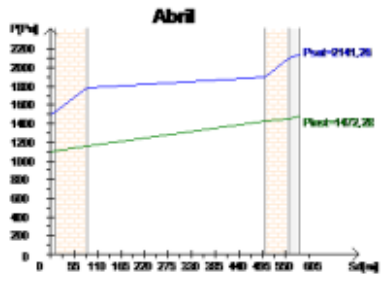
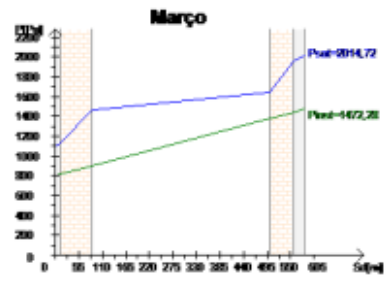
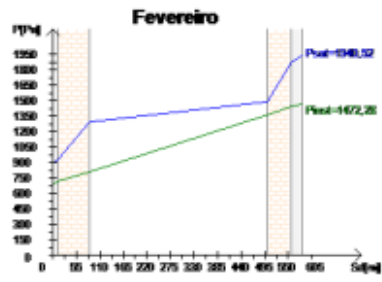
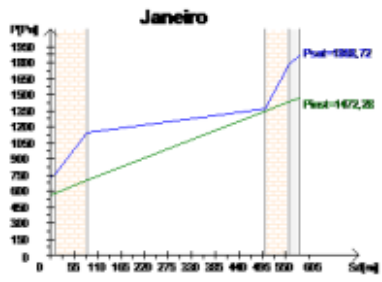


Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	Be [°C]	qe [%]	Pe [Pa]	Bi [°C]	qi [%]	Pi [Pa]
▶	Janeiro	744	2,0	80	584,231	20,0	63	1472,27
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27

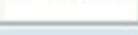
Conclusões:

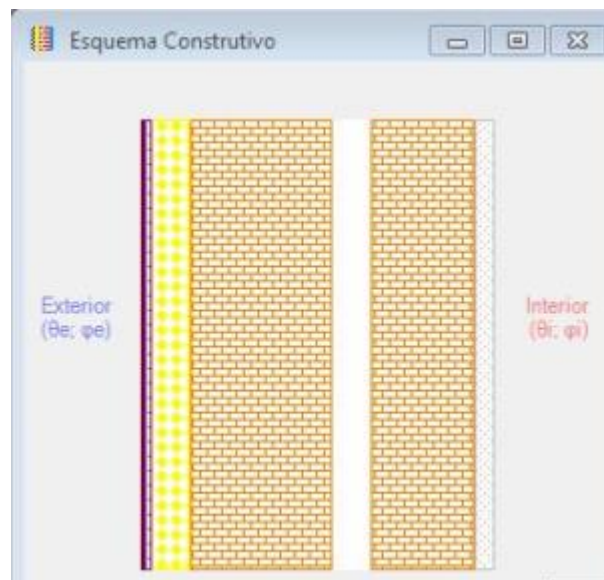
A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!



- Com isolamento exterior

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Cx ar		0,222	10400	0,04	
	EPS		0,037	300	0,04	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	
	ETICS		0,2	50	0,005	
	Pintura plástica int		0,63	48	0,0002	
	Pintura texturada		0,63	7,5	0,001	
	Tijolo 30x20x11		0,379	500	0,11	
	Tijolo 30x20x15		0,357	500	0,15	
*						

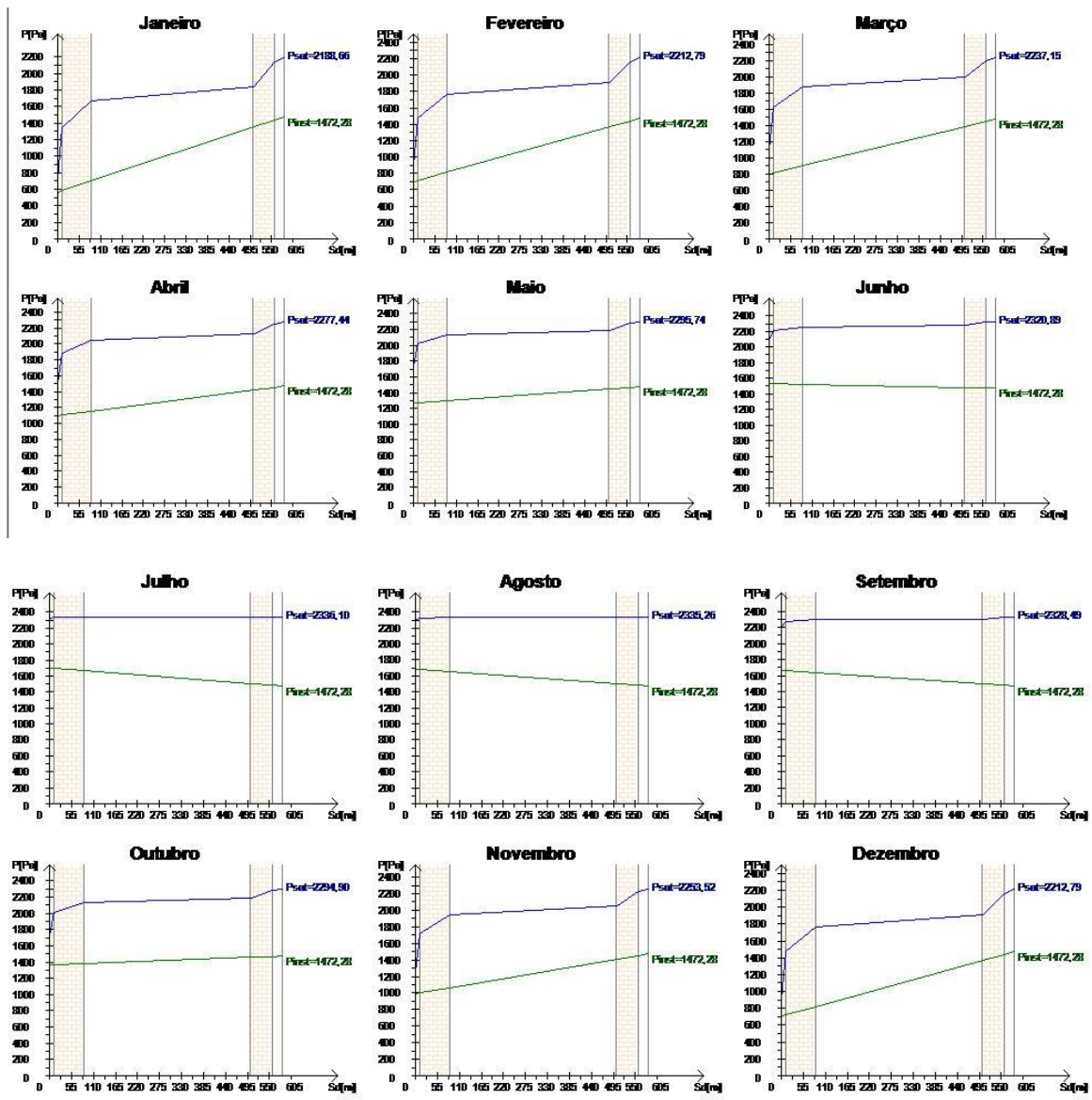


Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]
▶	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27
	Maió	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27

Conclusões:

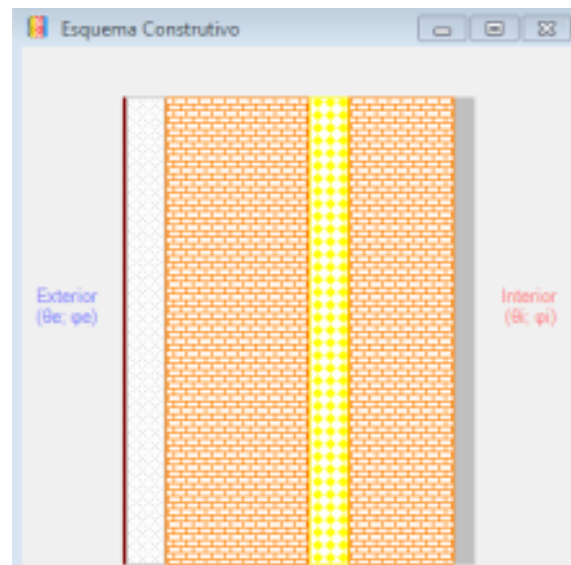
A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!



- Com isolamento intermédio

Camadas do Elemento Construtivo

Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Con/Padrão
Pintura texturada	0,63	7,5	0,001	
Reboco ext.	1,3	300	0,04	
Tijolo 30x20x15	0,357	500	0,15	
PUR	0,042	200	0,04	
Tijolo 30x20x11	0,379	500	0,11	
Estuque tradicional	0,4	1200	0,02	
Pintura plástica int.	0,63	48	0,0002	



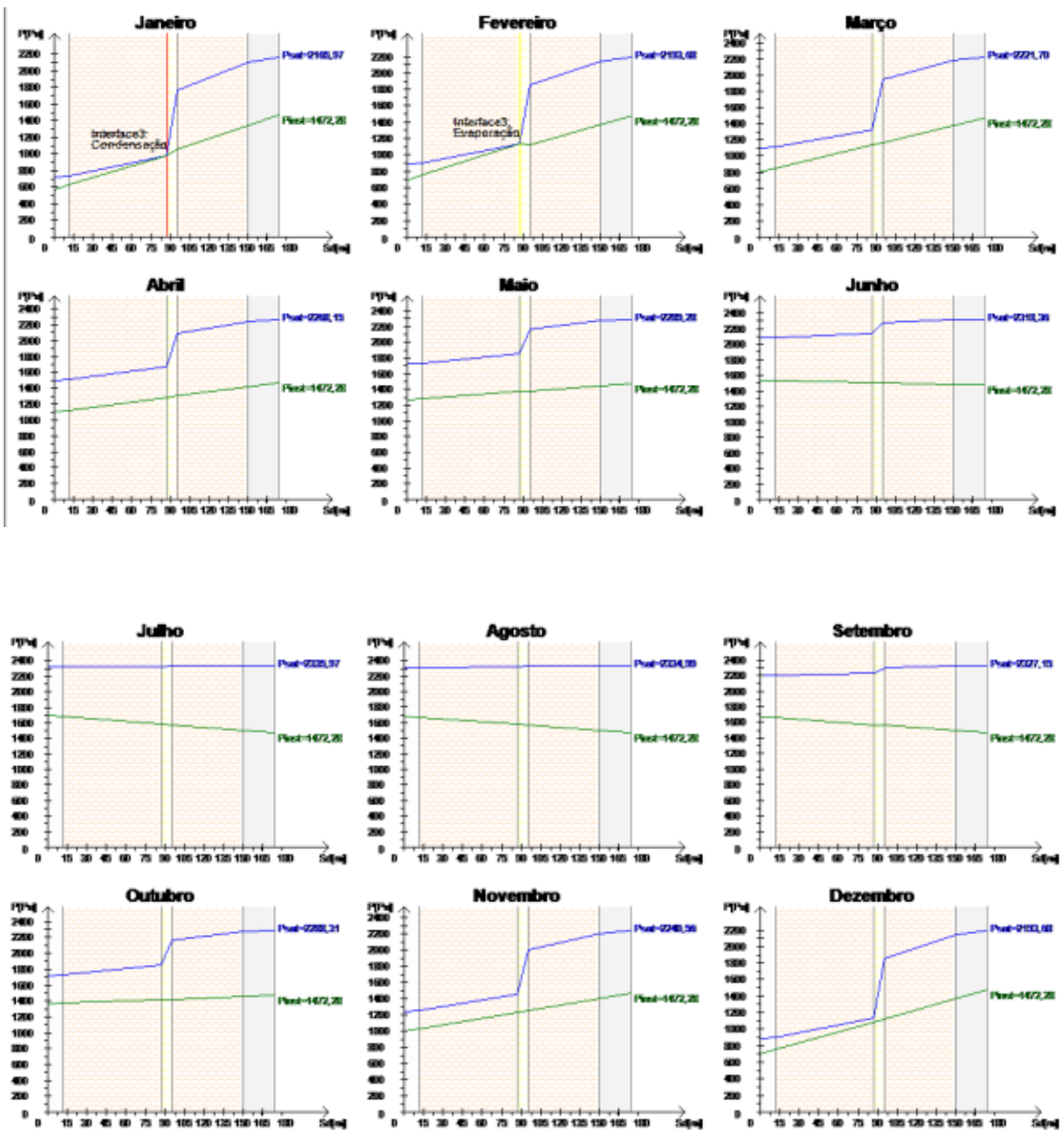
Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c3} [kg/(m²s)]	M_{s3} [Kg/m²]
Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	1,94E-10	0,0005
Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	-2,37E-10	0
Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Maió	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

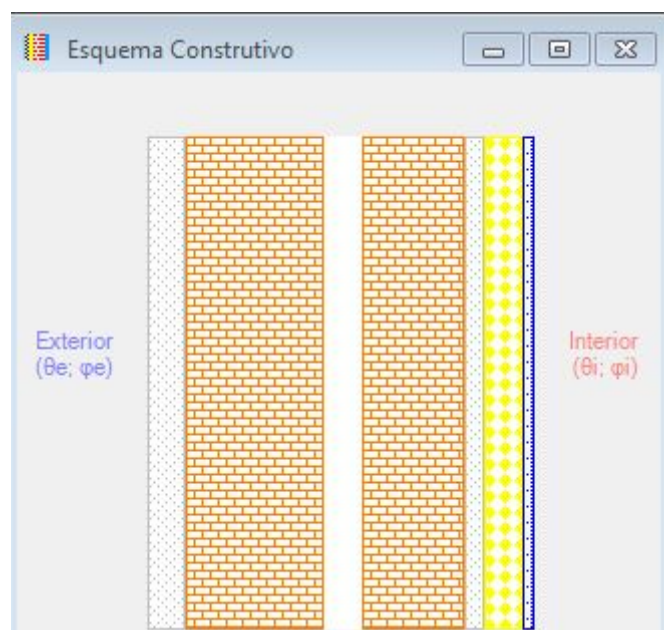
- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;



- Com isolamento interior

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	Cx ar		0,222	10400	0,04	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	
	Gesso cartonado		0,25	1200	0,012	
	Lã de rocha		0,042	7000	0,04	
	Reboco ext		1,3	300	0,04	
	Tijolo 30x20x11		0,379	500	0,11	
	Tijolo 30x20x15		0,357	500	0,15	
	Tinta plástica		0,63	48	0,0002	
▶	Tinta texturada		0,63	7,5	0,001	



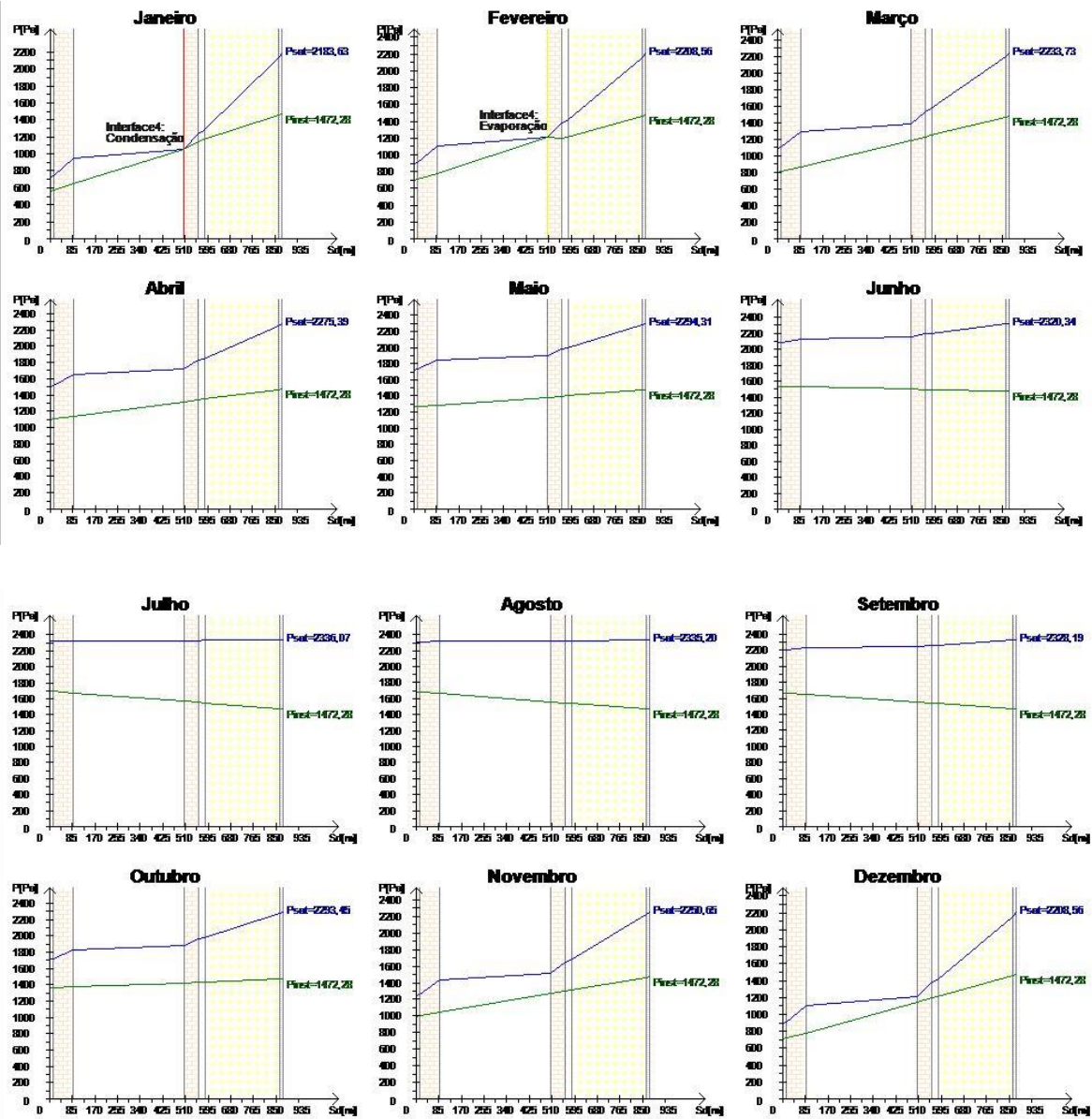
Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]
▶	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,1
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,1
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,1
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,1
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,1
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,1
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,1
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,1
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,1
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,1
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,1
	Dezembro	744	5,0	81	786,210	20,0	63	1472,1

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

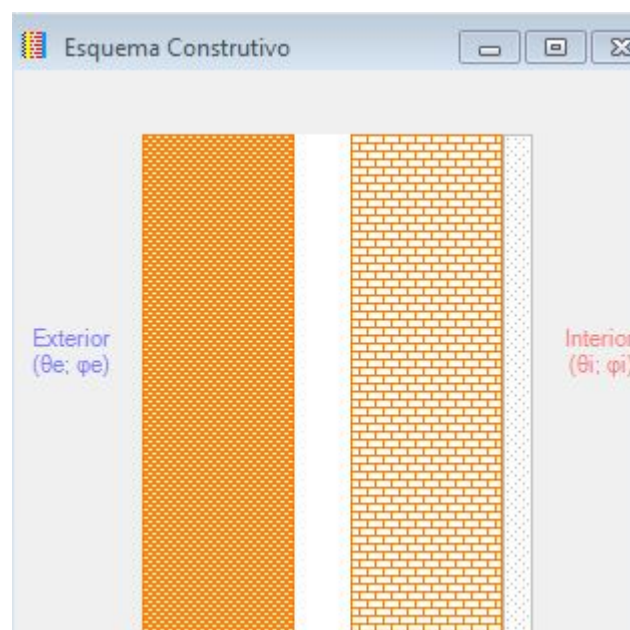


Parede dupla tijolo maciço 11 + tijolo furado 11 cm espessura

- Sem isolamento

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Cx ar	0,222	10400	0,04	
	Estuque tradicional	0,4	1200	0,02	
	Tijolo 30x20x11	0,379	500	0,11	
	Tijolo maciço	0,692	900	0,11	
	Tinta plastica int	0,63	48	0,0002	



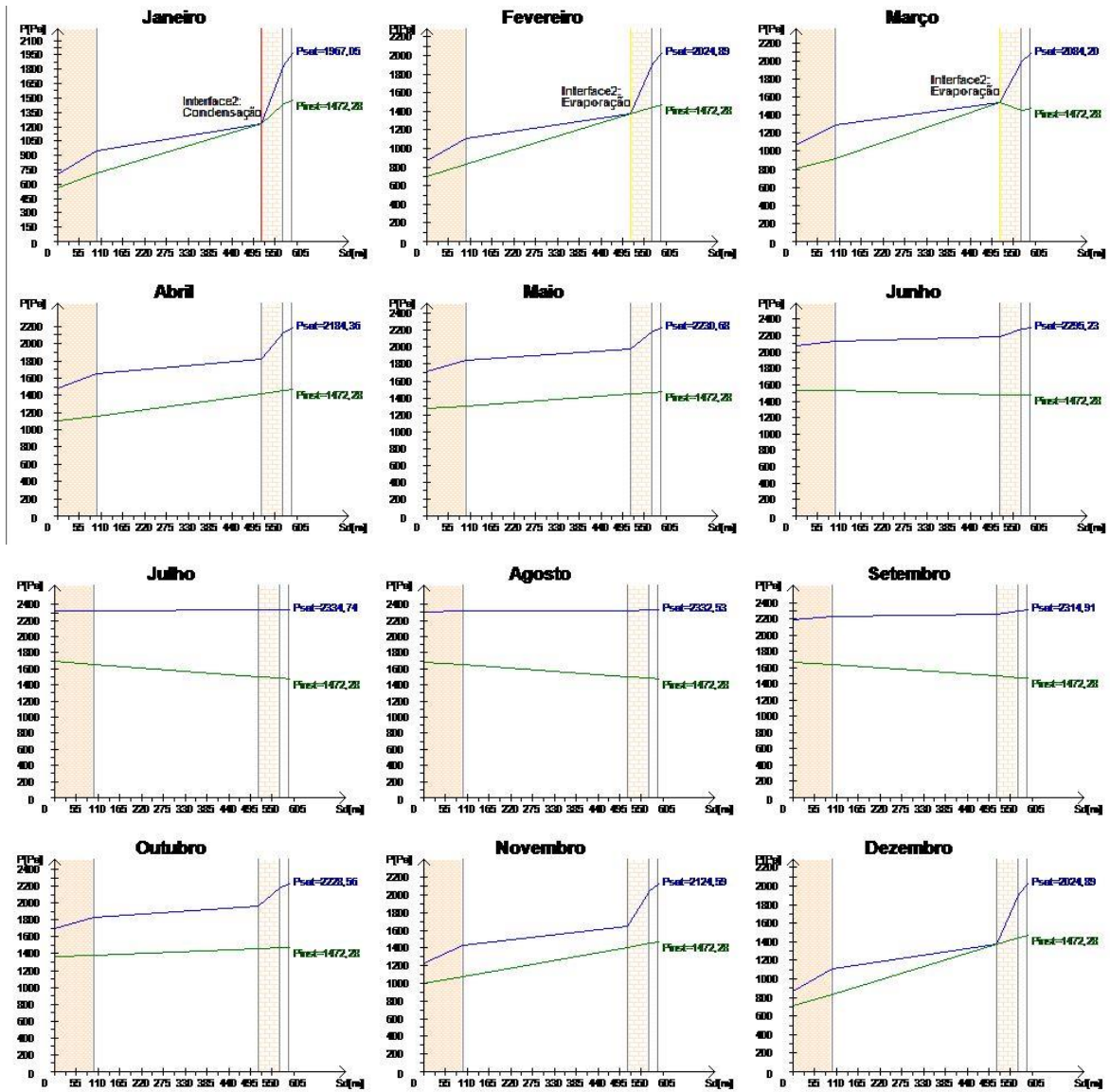
Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c2} [kg/(m²s)]	Ma_2 [Kg/m²]
▶	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	3,55E-10	0,0010
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	-1,30E-11	0,0010
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	-4,34E-10	0
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Maio	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

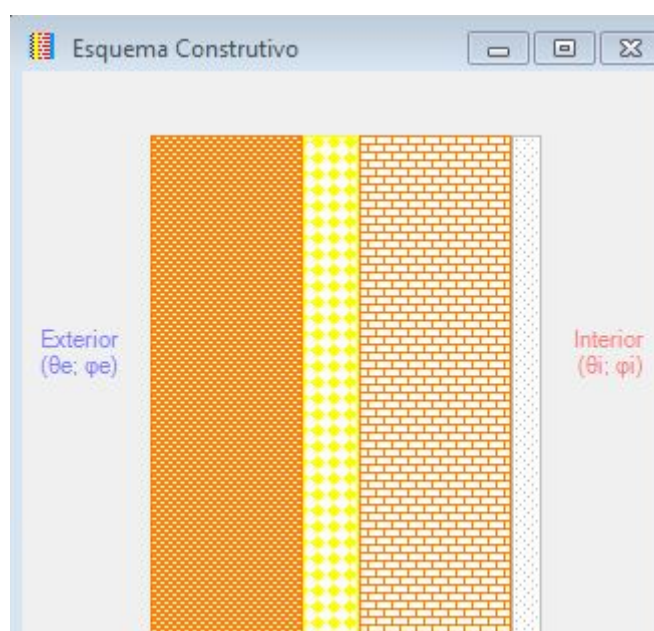
- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;



- Com isolamento intermédio

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Estuque tradicional	0,4	1200	0,02	
	PUR	0,042	200	0,04	
	Tijolo 30x20x11	0,379	500	0,11	
	Tijolo maciço	0,692	900	0,11	
	Tinta plástica int	0,63	48	0,0002	



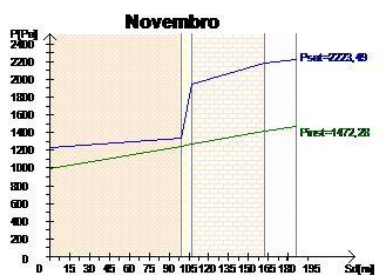
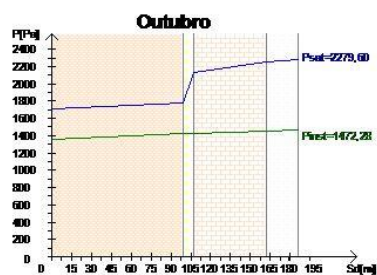
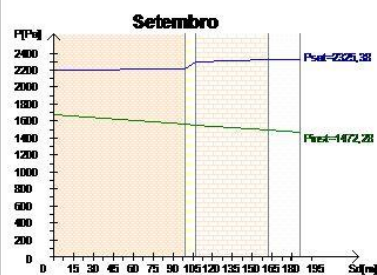
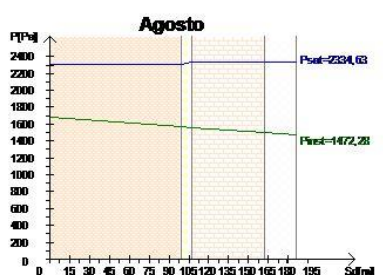
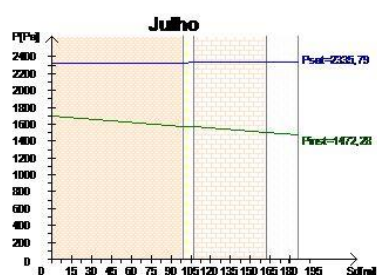
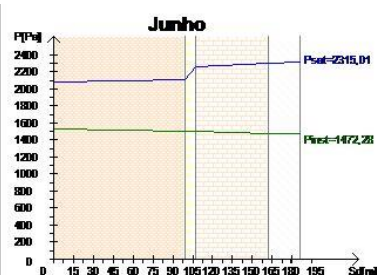
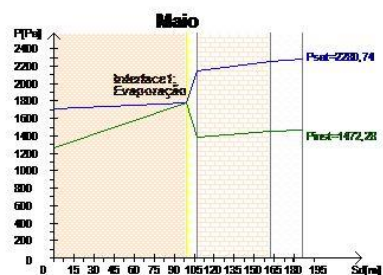
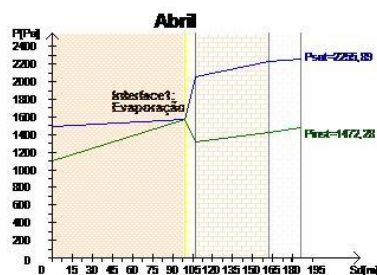
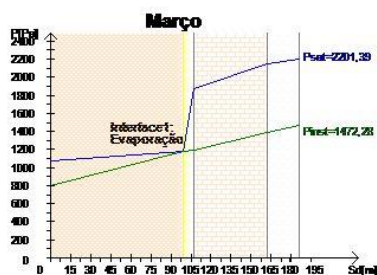
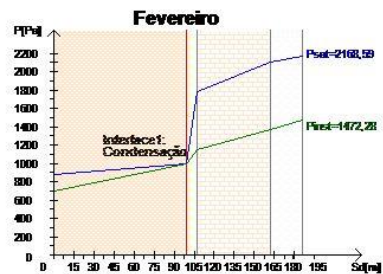
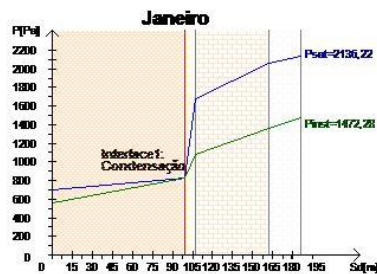
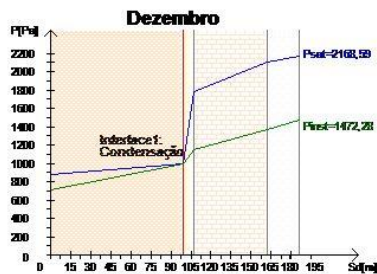
Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c1} [kg/(m²s)]	$Ma1$ [Kg/m²]
▶	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	5,34E-10	0,0014
	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	9,62E-10	0,0040
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	5,16E-10	0,0052
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	-1,07E-10	0,0049
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	-1,19E-09	0,0018
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	-1,75E-09	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

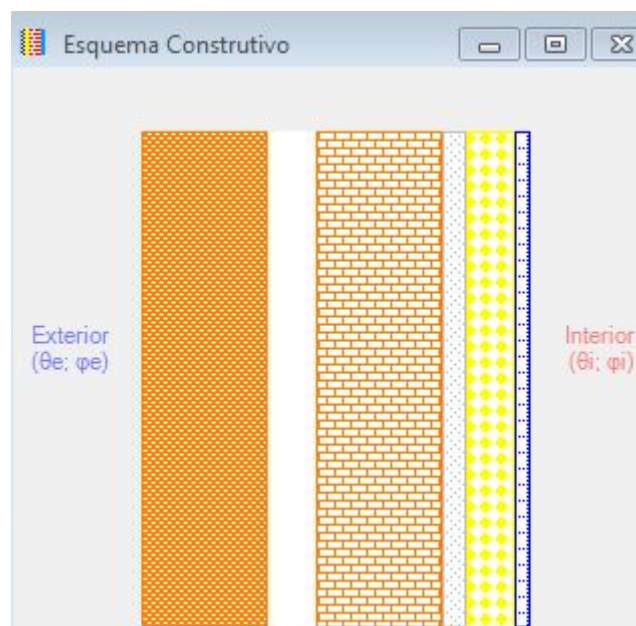
- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;



- Com isolamento interior

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	Cx ar		0,222	10400	0,04	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	
	Gesso cartonado		0,25	1200	0,012	
▶	Lã de rocha		0,042	7000	0,04	
	Tijolo 30x20x11		0,379	500	0,11	
	Tijolo maciço		0,692	900	0,11	
	Tinta plástica		0,63	48	0,0002	



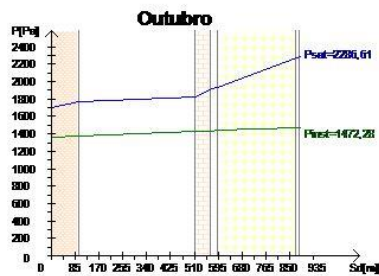
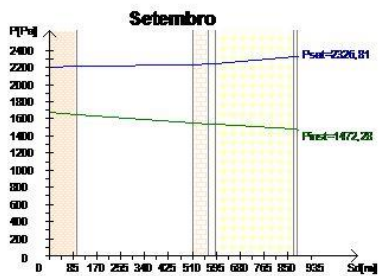
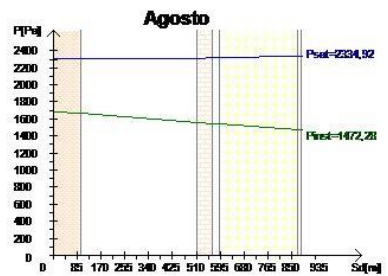
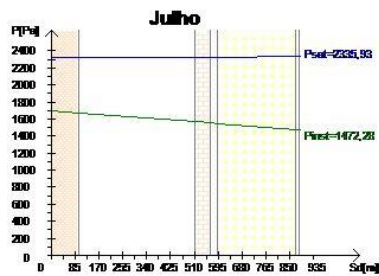
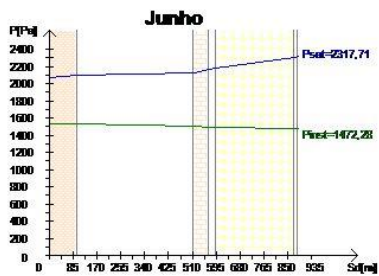
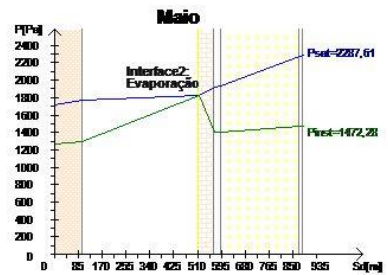
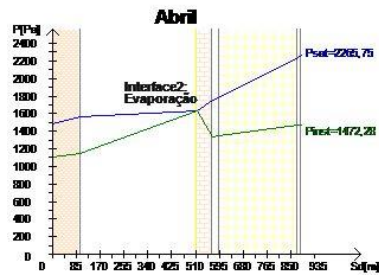
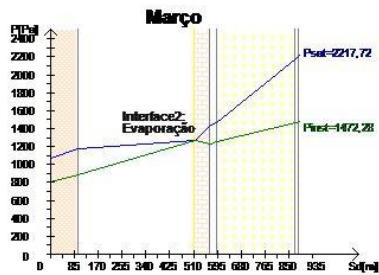
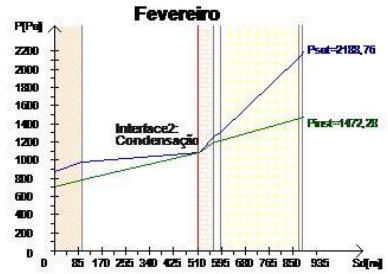
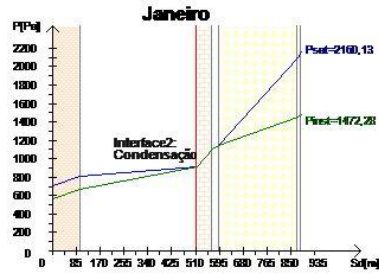
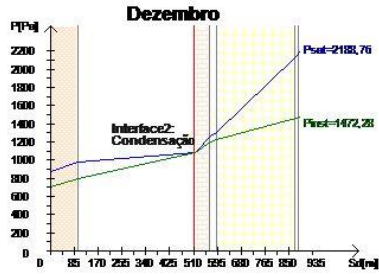
Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c2} [kg/(m²s)]	Ma_2 [Kg/m²]
▶	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	6,71E-11	0,0002
	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	5,75E-10	0,0017
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	6,38E-11	0,0019
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	-6,85E-11	0,0017
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	-2,95E-10	0,0009
	Maio	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	-4,09E-10	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

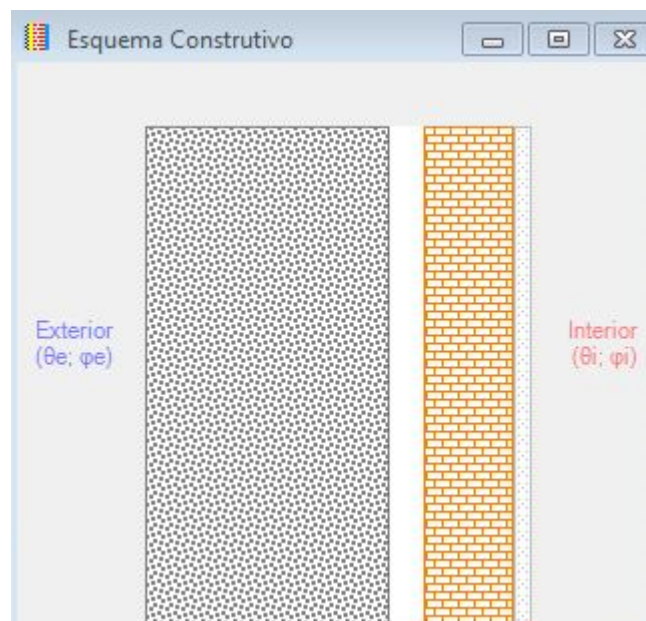


Parede dupla pedra granítica 30 cm + tijolo furado 11 cm espessura

- Sem isolamento

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Cx ar	0,222	10400	0,04	
	Estuque tradicional	0,4	1200	0,02	
	Pedra	2,8	315	0,3	
	Tijolo 30x20x11	0,379	500	0,11	
	Tinta plástica int	0,63	48	0,0002	



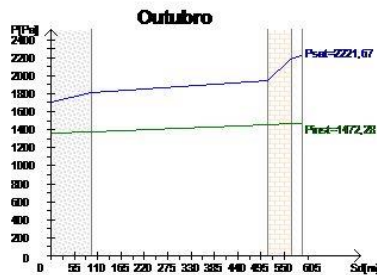
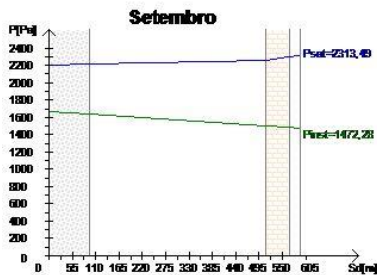
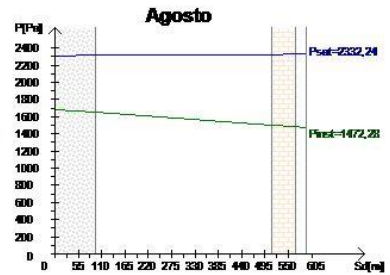
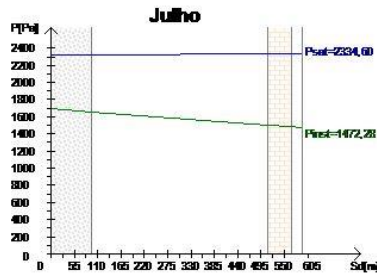
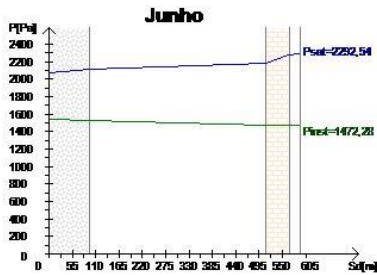
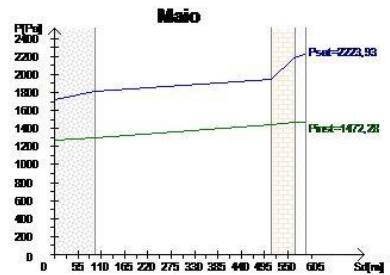
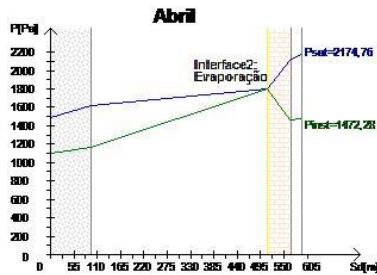
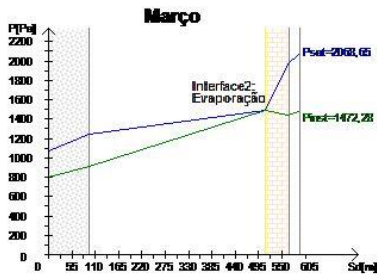
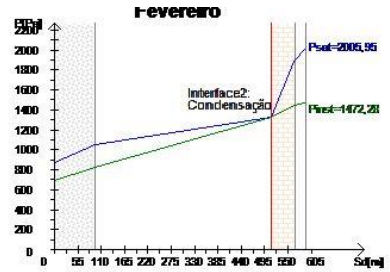
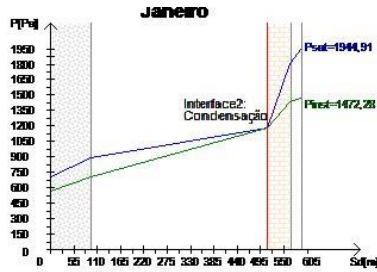
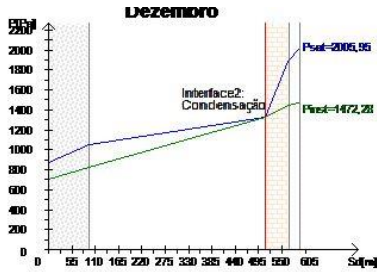
Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c2} [kg/(m²s)]	Ma_2 [Kg/m²]
▶	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	1,29E-10	0,0003
	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	5,06E-10	0,0017
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	1,26E-10	0,0020
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	-3,12E-10	0,0012
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	-1,09E-09	0
	Maió	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

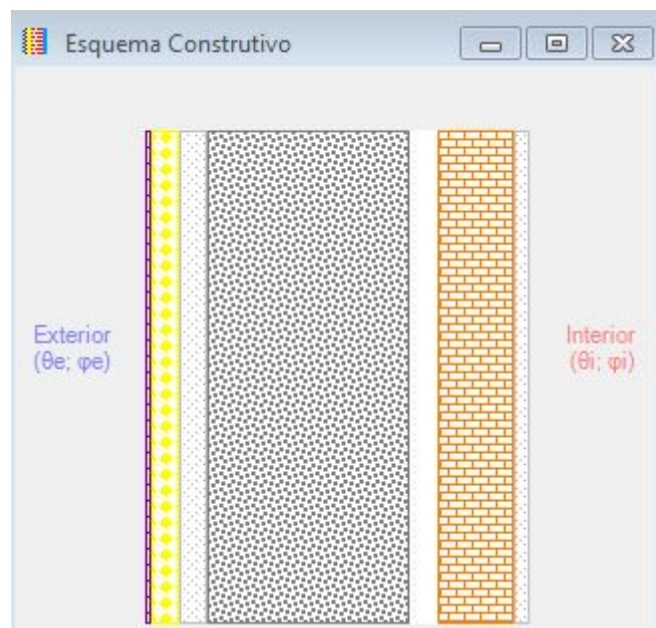
- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;



- Com isolamento exterior

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	Cx ar	0,222	10400	0,04		
	EPS	0,037	300	0,04		
	Estuque tradicional	0,4	1200	0,02		
	ETICS	0,2	50	0,005		
	Pedra	2,8	315	0,3		
	Reboco ext	1,3	300	0,04		
	Tijolo 30x20x11	0,379	500	0,11		
	Tinta plástica int	0,63	48	0,0002		
	Tinta texturada	0,63	7,5	0,001		

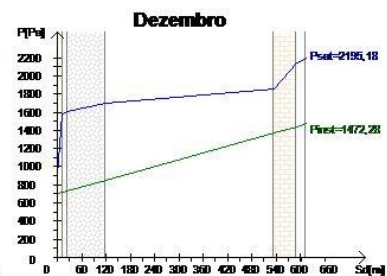
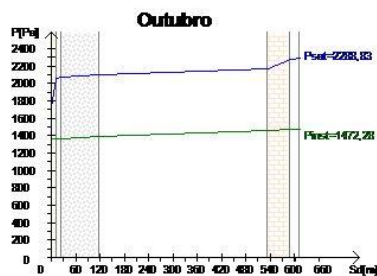
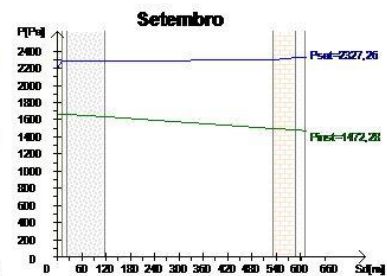
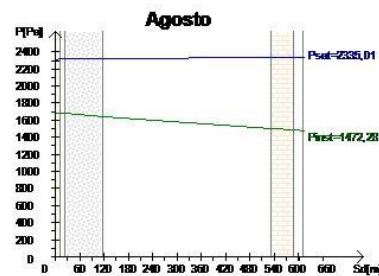
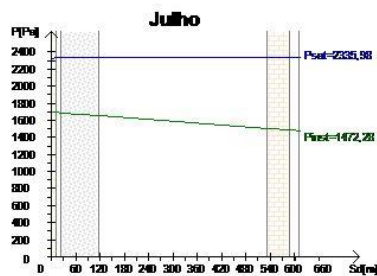
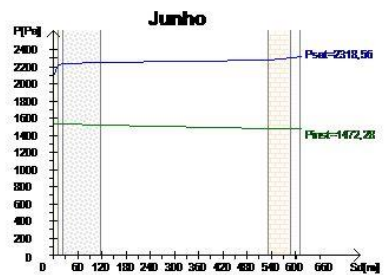
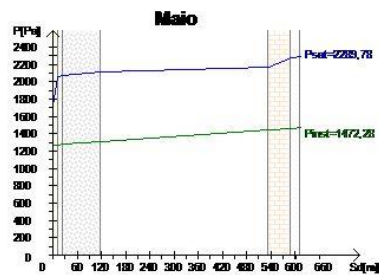
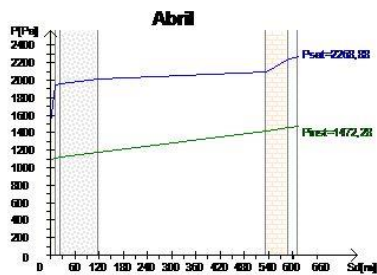
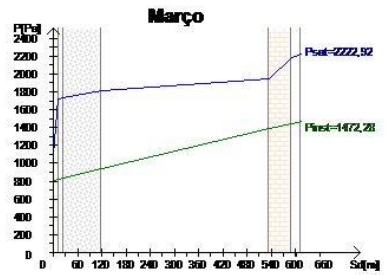
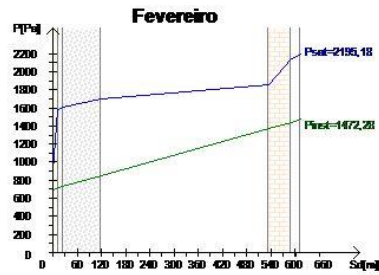
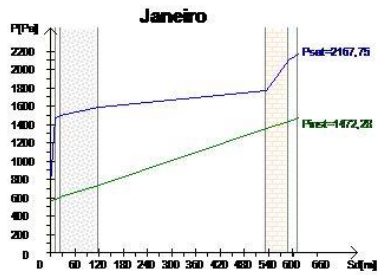


Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]
	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27
	Maiο	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27

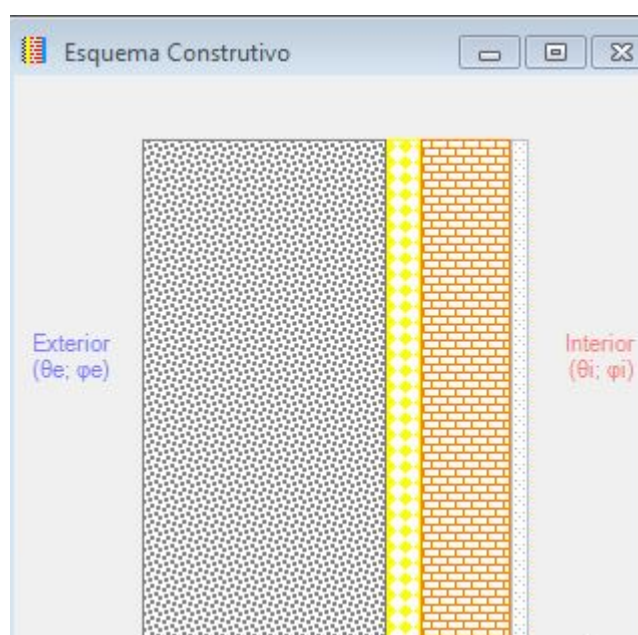
Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!



- Com isolamento intermédio

	Descrição	ϵ	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	
	Pedra		2,8	315	0,3	
	PUR		0,042	200	0,04	
	Tijolo 30x20x11		0,379	500	0,11	
	Tinta plástica int		0,63	48	0,0002	

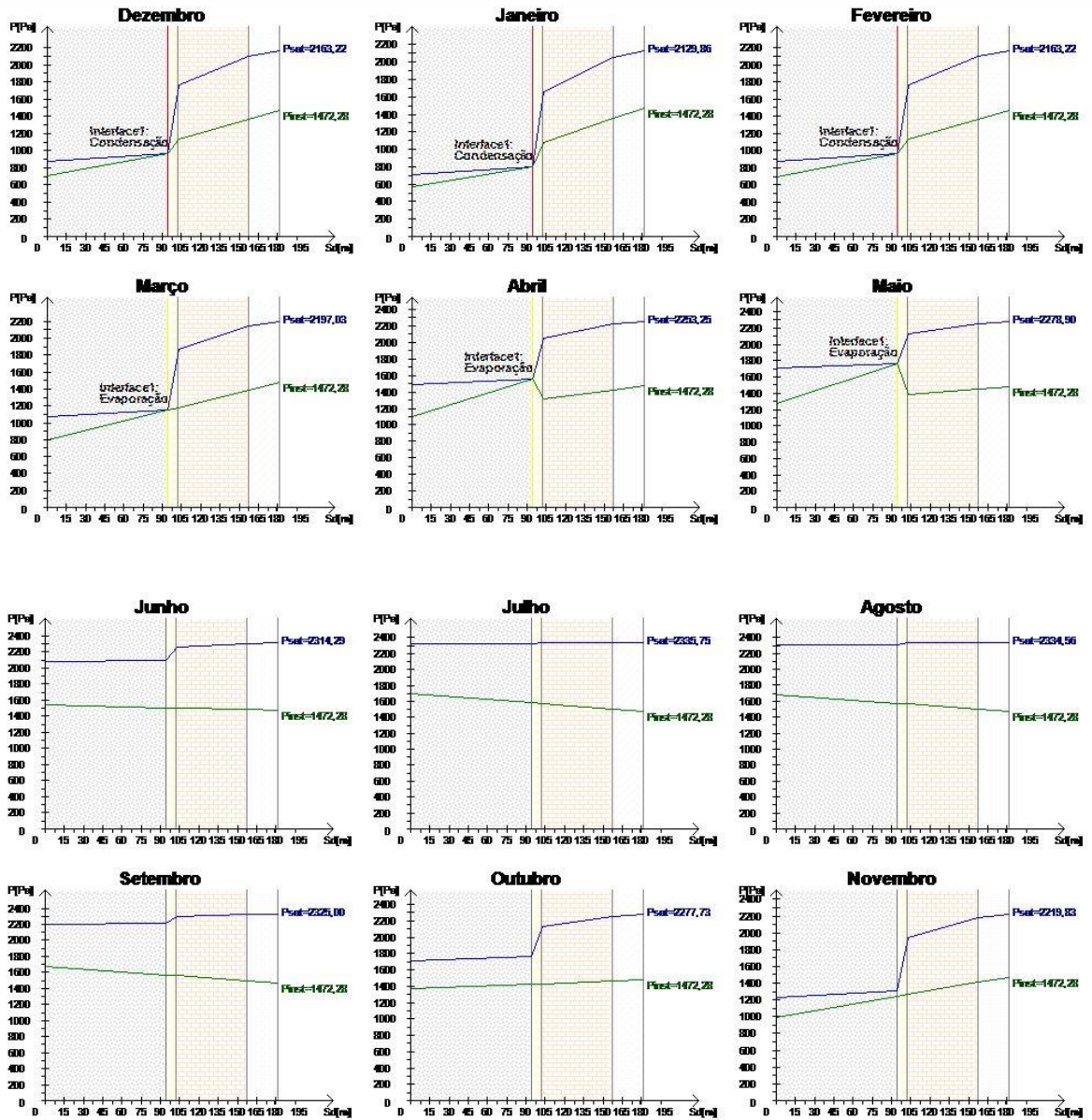


	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c1} [kg/(m²s)]	$Ma1$ [Kg/m²]
▶	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	6,35E-10	0,0017
	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	1,07E-09	0,0046
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	6,17E-10	0,0061
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	-2,27E-11	0,0060
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	-1,14E-09	0,0030
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	-1,73E-09	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

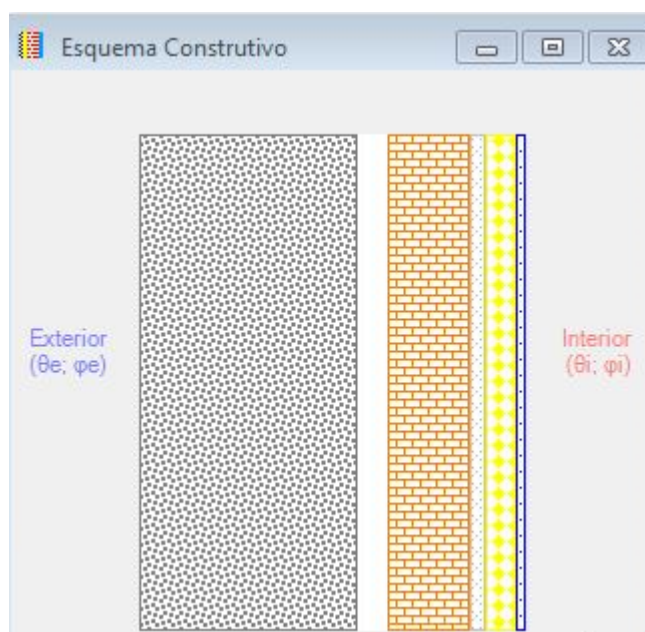
- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;



- Com isolamento interior

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Cx ar		0,222	10400	0,04	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	
	Gesso cartonado		0,25	1200	0,012	
	Lã de rocha		0,042	7000	0,04	
	Pedra		2,8	315	0,3	
	Tijolo 30x20x11		0,379	500	0,11	
	Tinta plástica int		0,63	48	0,0002	

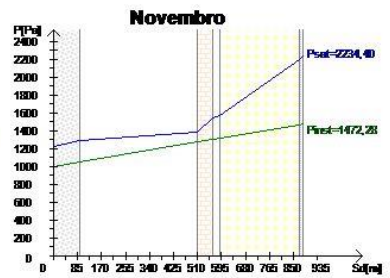
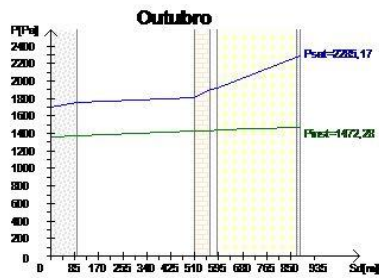
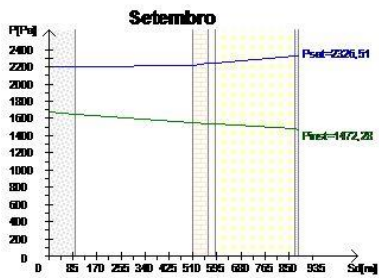
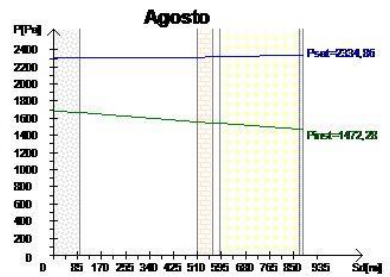
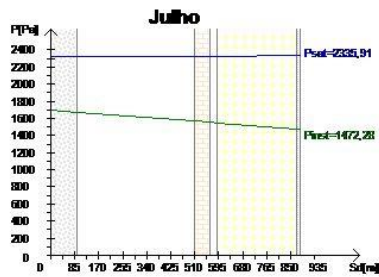
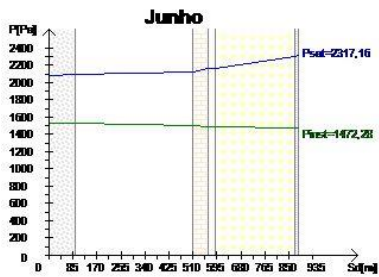
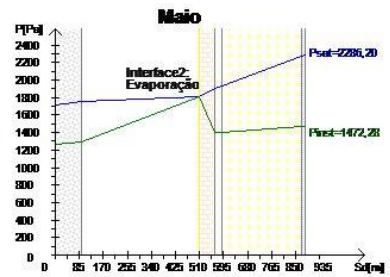
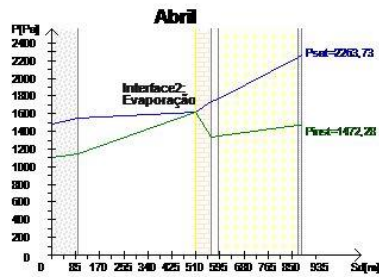
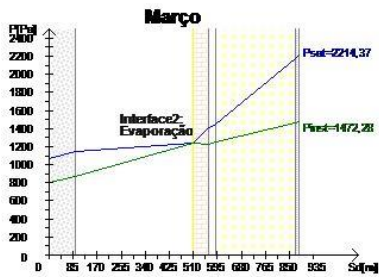
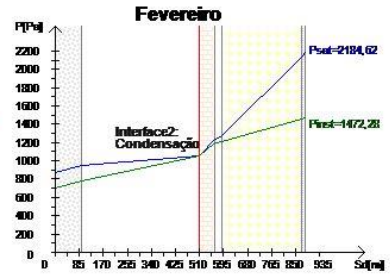
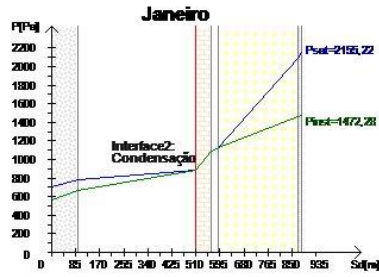
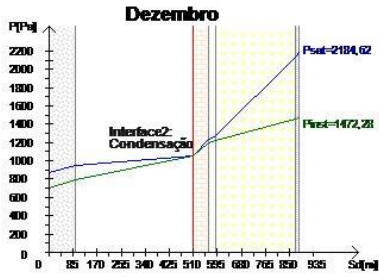


Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c2} [kg/(m²s)]	Ma_2 [Kg/m²]
▶	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	8,90E-11	0,0002
	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	5,88E-10	0,0018
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	8,56E-11	0,0020
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	-4,87E-11	0,0019
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	-2,81E-10	0,0012
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	-3,99E-10	0,0001
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0,0001
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0,0001
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0,0001
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0,0001
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0,0001
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0,0001

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão. Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

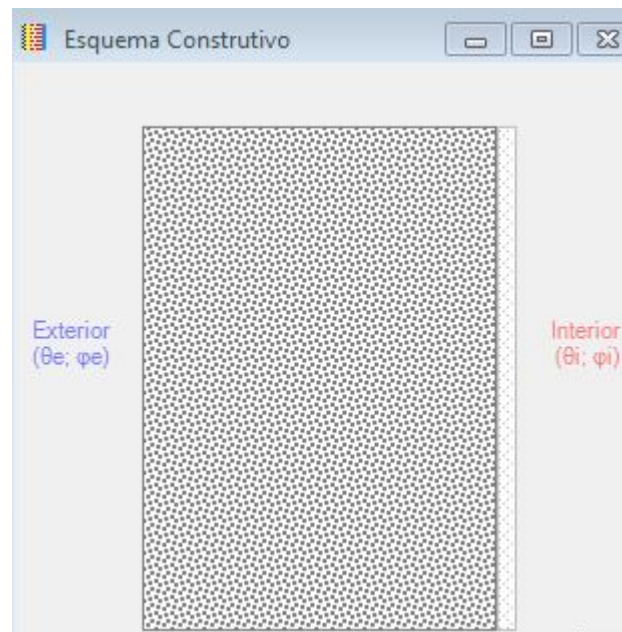


Parede simples pedra granítica 30 cm espessura

- Sem isolamento

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	γ	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Tinta plástica int		0,63	48	0,0002	
	Pedra		2,8	315	0,4	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	



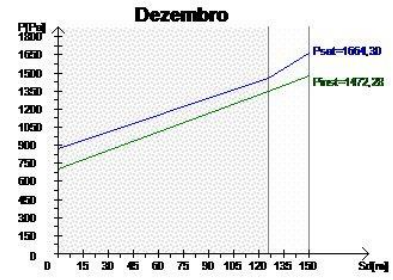
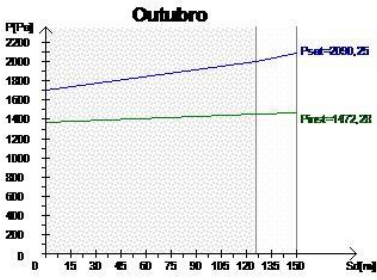
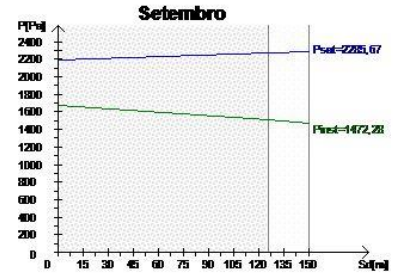
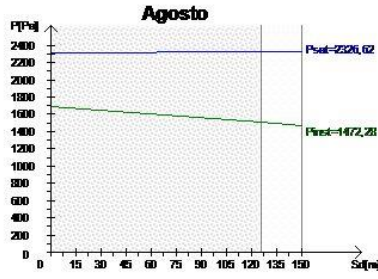
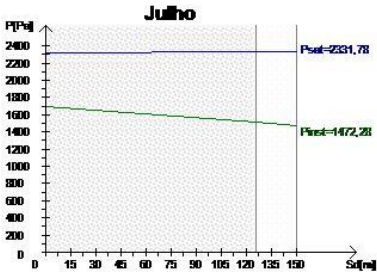
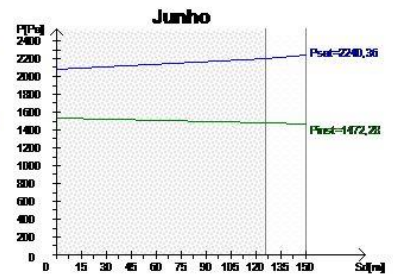
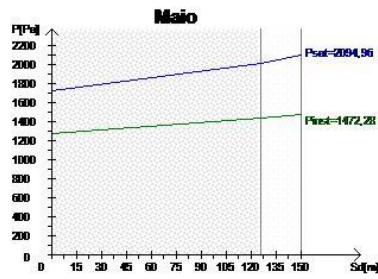
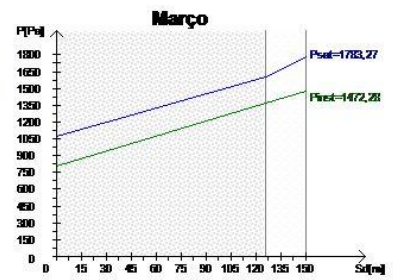
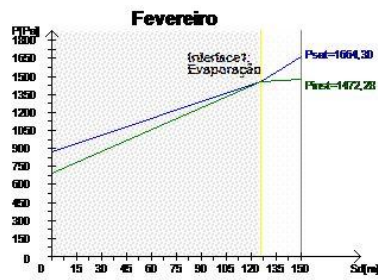
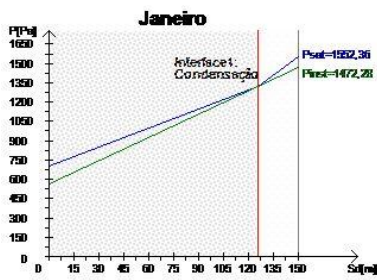
Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]	g_{c1} [kg/(m²s)]	$Ma1$ [Kg/m²]
▶	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27	9,35E-11	0,0003
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27	-1,05E-09	0
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27	0,00E+00	0

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

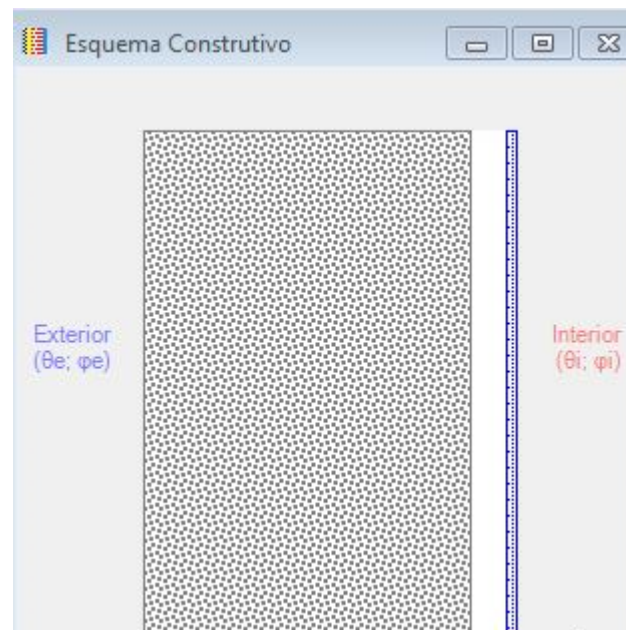
- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;



- Com gesso cartonado

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	α	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Tinta plástica int		0,63	48	0,0002	
	Pedra		2,8	315	0,4	
	Gesso cartonado		0,25	1200	0,012	
	Cx ar		0,222	10400	0,04	

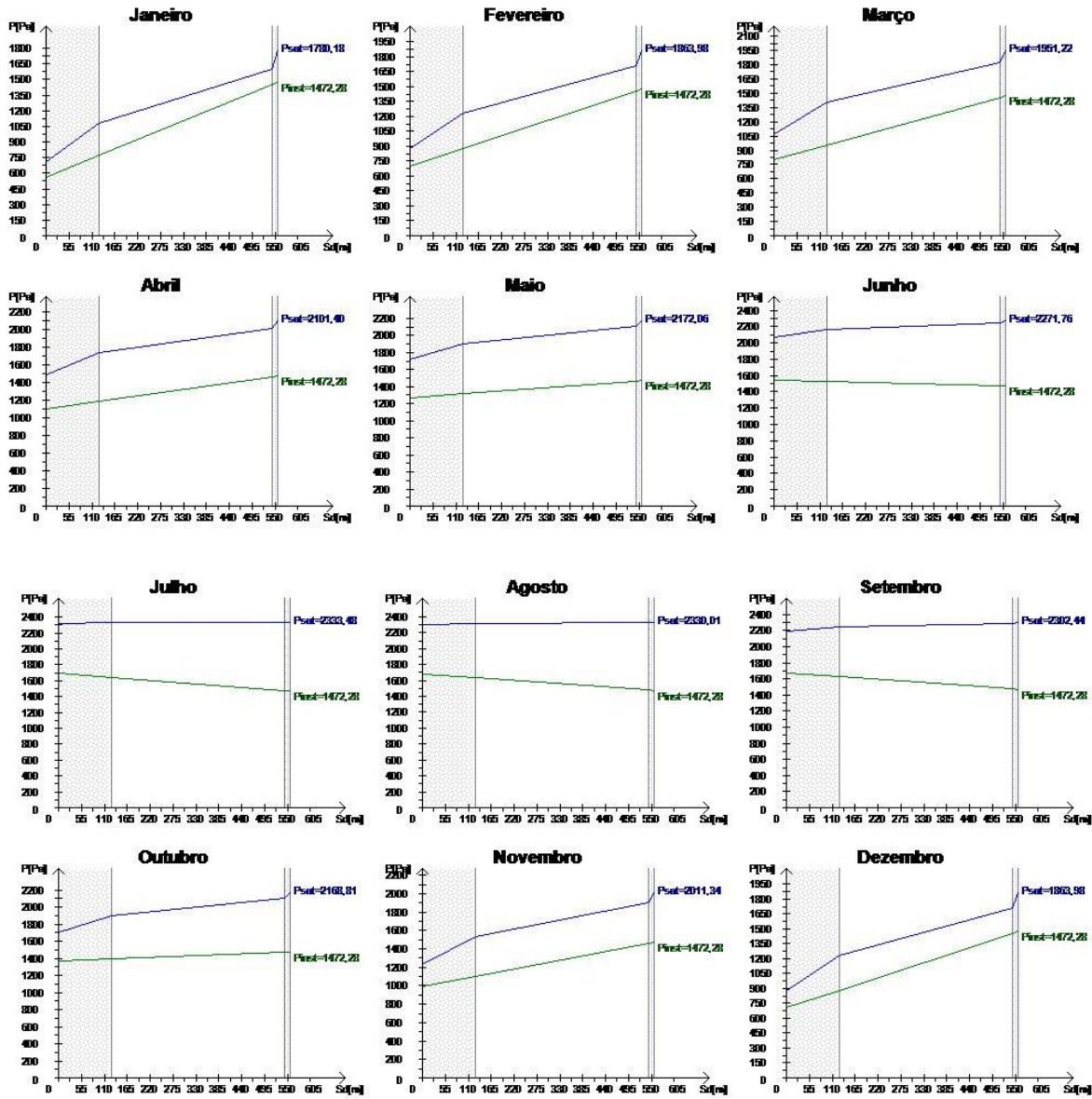


Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]
▶	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27
	Mai	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27

Conclusões:

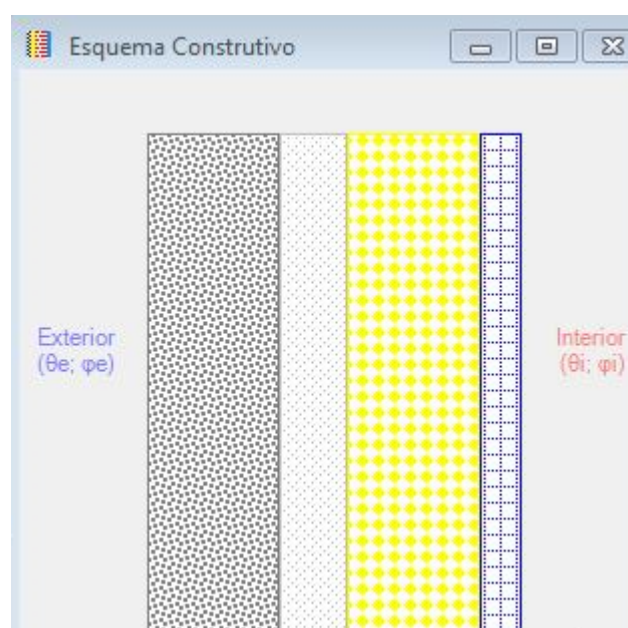
A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!



- Com isolamento interior

Camadas do Elemento Construtivo

	Descrição	γ	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	Tinta plástica int		0,63	48	0,0002	
▶	Pedra		2,8	315	0,04	
	Lã rocha		0,042	7000	0,04	
	Gesso cartonado		0,25	1200	0,012	
	Estuque tradicional		0,4	1200	0,02	



Resultados da Análise

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	φ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	φ_i [%]	P_i [Pa]
▶	Janeiro	744	2,0	80	564,231	20,0	63	1472,27
	Fevereiro	672	5,0	80	697,492	20,0	63	1472,27
	Março	744	8,0	75	804,155	20,0	63	1472,27
	Abril	720	12,9	74	1100,52	20,0	63	1472,27
	Maiο	744	15,1	74	1269,40	20,0	63	1472,27
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	63	1472,27
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	63	1472,27
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	63	1472,27
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	63	1472,27
	Outubro	744	15,0	80	1363,52	20,0	63	1472,27
	Novembro	720	10,0	81	994,121	20,0	63	1472,27
	Dezembro	744	5,0	81	706,210	20,0	63	1472,27

Conclusões:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

